

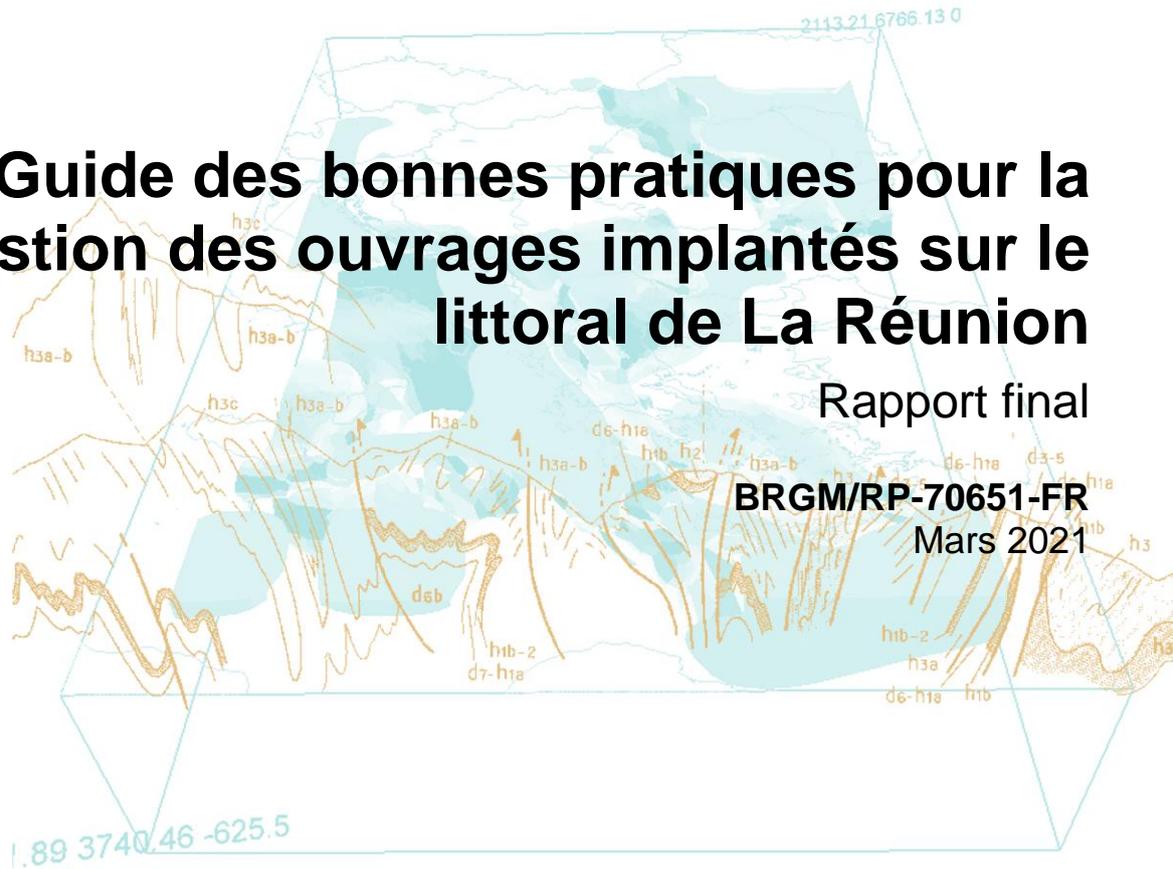


Guide des bonnes pratiques pour la gestion des ouvrages implantés sur le littoral de La Réunion

Rapport final

BRGM/RP-70651-FR

Mars 2021



PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION

*Liberté
Égalité
Fraternité*



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Guide des bonnes pratiques pour la gestion des ouvrages implantés sur le littoral de La Réunion

Rapport final

BRGM/RP-70651-FR
Mars 2021

Étude réalisée dans le cadre du projet de Service public du BRGM AP15REU012

Durand G. et Belon R.

Vérificateur :

Nom : Olivier Brivois

Fonction : Chef de projet

Date : 26/02/2021

Signature :



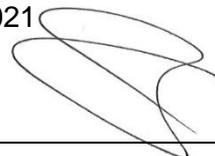
Approbateur :

Nom : Kévin Samyn

Fonction : Directeur régional – La Réunion

Date : 11/03/2021

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



**PRÉFET
DE LA RÉGION
RÉUNION**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots-clés : Aménagement littoral, Ouvrages, Guide, Gestion, Érosion littorale, Submersion, Solutions alternatives, Végétation, La Réunion

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Durand G. et Belon R. (2021) – Guide des bonnes pratiques pour la gestion des ouvrages implantés sur le littoral de La Réunion. Rapport final. BRGM/RP-70651-FR, 63 p., 43 ill., 8 tabl.

© BRGM, 2021, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

L'île de la Réunion est fortement soumise aux aléas marins et l'intégralité de son pourtour littoral est sujet à l'érosion, due à des phénomènes naturels (régimes de houles australes ou cycloniques, régime des vents, ruissellement ...) ou anthropiques (aménagements portuaires, enrochement ...).

Depuis les années 1950, la Réunion a vu une augmentation importante de sa population (environ 416000 en 1968 pour environ 854000 en 2017 ; Source : Insee) et de ses infrastructures touristiques et balnéaires (Jauze, 2007), en particulier sur le milieu littoral. Ceci a entraîné l'augmentation d'enjeux soumis aux aléas marins et donc l'augmentation de moyens de protection, traditionnellement appuyé par l'implantation d'ouvrages « lourds » (murs, épis, digues portuaires, etc.). Ceux-ci ont souvent une action protectrice très localisée et une tendance à aggraver les effets de l'érosion au niveau des secteurs adjacents. Plusieurs méthodes alternatives ont vu le jour pour pallier les effets indésirables des ouvrages traditionnels, comme la végétalisation du haut de plage, la transparence hydraulique des ouvrages littoraux ou encore le reprofilage des plages.

Cofinancé par la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) et le BRGM, dans le cadre de ses missions d'appui aux politiques publiques, ce guide a pour objectif d'orienter les prises de décisions vers une gestion plus raisonnée de l'environnement littoral et des aménagements réalisés dans ce milieu, notamment les ouvrages délimitant les parcelles des particuliers. Pour ce faire, quelques méthodes « douces »¹ d'aménagement à favoriser aux ouvrages plus traditionnels seront présentées. Les solutions « dures »² (ou traditionnelles), seront également abordées afin de rappeler leurs impacts sur les dynamiques sédimentaires à travers le monde et sur quelques cas concrets du littoral réunionnais.

En ce qui concerne les ouvrages perpendiculaires à la ligne de rivage (épis, digues portuaires, enrochement) présents sur le littoral réunionnais, les méthodes douces de rechargements artificiels en sédiments et les systèmes de by-pass semblent les plus indiqués pour limiter l'impact de ces ouvrages sur les dynamiques sédimentaires. En effet, elles ont pour avantage de réinjecter des sédiments directement dans la cellule sédimentaire et de limiter l'exposition aux submersions marines (De La Torre, 2014). Cependant, il est indispensable d'estimer les volumes de sables nécessaires et ceux disponibles avant toute opération de rechargement. Ces méthodes induisent également un coût non négligeable d'installation et d'entretien (répétition de rechargement, travaux d'installation du système de by-pass) mais sont à mettre en perspective avec les coûts d'installations et d'entretien des ouvrages de défense.

L'impact des ouvrages longitudinaux de haut de plage (murs délimitant les parcelles des particuliers principalement) dépend principalement de leur localisation sur le profil de plage, de leur morphologie et de leur imperméabilité. Afin de ne pas perturber les dynamiques sédimentaires entre la dune et le haut de plage, un ouvrage doit être implanté le plus loin possible dans les terres et ne pas empiéter sur la zone de mobilité de la plage.

¹ Les méthodes douces caractérisent les solutions de gestion du littoral consistant à composer avec le milieu naturel et laissant un certain degré de liberté aux dynamiques naturelles de la plage.

² Les méthodes dures caractérisent les solutions qui consistent à mettre en place des structures solides (généralement en béton) dont l'action est de maintenir le trait de côte sans laisser aucun degré de liberté aux dynamiques de la plage.

Il est également important de favoriser une pente douce au niveau de l'ouvrage et une transparence hydraulique afin d'augmenter la capacité de l'ouvrage à dissiper l'énergie des vagues. En comparaison, un ouvrage vertical et imperméable va augmenter la réflexion des vagues sur celui-ci, et accentuer la capacité érosive de la houle à sa base.

La présence de végétation en haut de plage est également très importante afin de limiter l'impact des aléas côtiers, comme l'érosion ou les submersions marines, sur le profil de plage car elle a un rôle de piège à sédiment très efficace pour contrer l'érosion. De plus, elle permet également d'atténuer l'impact des submersions marines en augmentant le volume sédimentaire en haut de plage et en jouant le rôle de barrière sur les débris apportés, limitant les dégâts occasionnés lors de ces évènements.

Enfin il est important de rappeler que pour l'implantation de solutions de réductions de l'aléa, expérimentale ou non, toute intervention sur le Domaine Public Maritime fait l'objet d'une instruction par les services de l'Etat, plus ou moins complexes selon le dispositif choisi et les impacts environnementaux attendus (BRGM/RP-63034-FR).

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. CONTEXTE	9
1.2. OBJECTIFS	9
2. Morphologie littorale	11
2.1. CONCEPT DE CELLULE SEDIMENTAIRE	11
2.2. MORPHOLOGIE D'UN PROFIL DE PLAGE PAR SECTEUR	12
2.3. PRESENTATION DES ALEAS COTIERS.....	13
2.3.1.Principe de l'aléa recul du trait de côte.....	14
2.3.2.Principe de l'aléa submersion marine.....	14
3. Impacts des ouvrages côtiers	19
3.1. OUVRAGES PERPENDICULAIRES A LA COTE	19
3.2. OUVRAGES PARALLÈLES À LA COTE.....	20
3.2.1.Ouvrages de bas de plage	20
3.2.2.Ouvrages de haut de plage.....	21
4. Exemples d'impacts d'ouvrages à la Réunion	23
4.1. IMPACTS DES OUVRAGES PERPENDICULAIRES À LA RÉUNION	23
4.2. IMPACTS DES OUVRAGES PARALLÈLES DE HAUT DE PLAGE À LA RÉUNION.....	24
4.2.1.Catégorisation des ouvrages de types « murs »	25
4.2.2.Impact du positionnement des ouvrages en haut de plage.....	26
4.2.3.Impact morphologique sur le haut de plage suivant les typologies d'ouvrages (exemple : plage de la Saline-les-Bains)	28
5. Exemples de solutions alternatives et recommandations.....	37
5.1. ALTERNATIVES POUR LES OUVRAGES PERPENDICULAIRES A LA COTE37	
5.1.1.Le rechargement artificiel en sédiment.....	37
5.1.2.Le système By-pass.....	38
5.2. ALTERNATIVES POUR LES OUVRAGES DE HAUT DE PLAGE PARALLÈLES À LA CÔTE.....	39
5.2.1.Localisation et zonage des ouvrages en haut de plage	39
5.2.2.Intérêt et principe de la végétalisation de haut de plage.....	39

5.2.3 Intérêt et principe du reprofilage de plage	47
5.2.4 Favoriser la transparence hydraulique.....	48
5.2.5 Adoucir la pente des ouvrages	49
5.2.6 Synthèse des solutions douces	49
6 Conclusion.....	53
7 Bibliographie	55
8 Lexique.....	56

Liste des illustrations

Illustration 1 : A gauche , Carte de la commune de Saint-Paul, présentant deux exemples de cellules sédimentaires voisines à la Saline-les-Bains (orthophotographie 2017, IGN) ; A droite , Départ de sédiments vers le large à proximité de la passe de l'Ermitage (2004, BRGM)	11
Illustration 2 : Sectorisation morphologique des différentes zones dynamiques le long d'un profil de plage (Chateauminois et al., 2016)	12
Illustration 3 : A gauche , Carte de la Saline-les-bains en 1950 ; A droite , Carte de la Saline-les-bains en 1950 couplée avec le zonage du cordon dunaire (orthophotographie 1950)	13
Illustration 4 : Sites sensibles aux aléas de submersion marine et/ou d'érosion côtière (Chateauminois, 2015).....	13
Illustration 5 : A gauche , filaos victime de l'érosion de la plage de l'Ermitage (photo : imazpress) ; A droite , abaissement de la plage en présence d'un mur de soutènement (source : MSP)	14
Illustration 6 : Schéma des phénomènes météo-marin ayant lieu lors d'une tempête et expliquant le phénomène de submersion marine à la côte.....	16
Illustration 7 : Les différents types de submersion marine (Pedreros R. & Garcin M. 2012)	17
Illustration 8 : Illustration d'une submersion par rupture de digue suite à la tempête Xynthia. (Photo: CG17).....	17
Illustration 9 : Schéma du principe de fonctionnement d'un épi (Balouin et al., 2012).....	19
Illustration 10 : Exemple d'implantation d'épi sur le littoral de la côte est de la Corse (Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres)	20
Illustration 11 : Schéma du principe de fonctionnement d'un brise-lame (Balouin et al., 2012) .	20
Illustration 12 : Effet des brises-lames sur le littoral du Languedoc-Roussillon.	21
Illustration 13 : Schéma de fonctionnement d'un ouvrage longitudinal. (Balouin et al., 2012)....	21
Illustration 14 : A gauche , exemple d'affouillement en pied d'ouvrage suite à un évènement de houles australes à l'été 2020 (plage des Roches Noires) ; A droite , basculement d'un ouvrage suite à un évènement de houle australe en 2019 (plage des Roches Noires).....	22
Illustration 15 : Carte du port de Saint-Gilles en 2017 (orthophotographie), présentant les différentes dynamiques sédimentaires ayant lieu à proximité de cet ouvrage.	23

Illustration 16 : Carte des dynamiques sédimentaires ayant lieu au niveau : a) du port de Saint-Leu, b) du Port, c) de la digue du Butor et d) du port de Sainte-Marie (orthophotographie 2017).....	24
Illustration 17 : A gauche , schéma représentant la nature des ouvrages littoraux transversaux (cross-shore) en pourcentage de linéaire sur le cordon littoral ; A droite , schéma représentant la nature des ouvrages littoraux longitudinaux (longshore) en pourcentage de linéaire sur le cordon littoral (Chateauinois et al., 2016).	25
Illustration 18 : Photo de deux ouvrages de type mur (Campagne IMOCOR : respectivement SPA134 et SPA065)	25
Illustration 19 : Photo de deux ouvrages de type mur mixte (Campagne IMOCOR : respectivement SPA138 et SPA150)	26
Illustration 20 : Photo de deux ouvrages de type clôtures et grillages (Campagne IMOCOR : respectivement SPA132 et SPA139).....	26
Illustration 21 : Evolution morphologique de la plage de Saint-Pierre entre 1950 et 2017, avec la localisation de l'ouvrage de type mur responsable de la disparition de la plage, ainsi que la passe littorale au large (Orthophotographies, IGN).	27
Illustration 22 : Photo de l'ouvrage imperméable responsable de la disparition de la plage à Saint-Pierre (Campagne OBSCOT, 28 juillet 2020).....	27
Illustration 23 : Photo de la plage de Saint-Pierre encore présente malgré la présence d'un ouvrage imperméable en haut de plage (Campagne OBSCOT, 28 juillet 2020).	28
Illustration 24 : Evolution topographique du profil de plage en face de la gendarmerie à Saint Pierre	28
Illustration 25 : Carte de l'exemple situé à la Saline-les-Bains, couplé avec le zonage du cordon littoral et la typologie des ouvrages présents en haut de plage (Orthophotographie 2017, IGN)	29
Illustration 26 : Carte de l'évolution morphologique de la zone d'étude située à la Saline-les-Bains selon le trait de côte de bas de plage de 1950, au niveau de deux zones définies selon l'imperméabilité des ouvrages présents en haut de plage (Orange = Imperméabilité forte ; Vert = Imperméabilité faible) (Orthophotographie 2017, IGN)	30
Illustration 27 : Carte et description de l'évolution morphologique de deux secteurs voisins, définis selon l'imperméabilité des ouvrages présents en haut de plage, au fil du temps (1950, 1966, 1978, 1997, 2008, 2012, 2017 ; IGN).....	31
Illustration 28 : <i>Taux d'évolution de la position du trait de côte sur la plage de la Saline-les-Bains et coefficient de détermination R² selon différents trait de côte compris entre 1950 et 2017 (m/an)</i>	33
Illustration 29 : Photographies des ouvrages présents devant l'hôtel LUX Saint-Gilles à Saint-Gilles-les-Bains issues de la Campagne IMOCOR de 2014 (respectivement SPA118 et SPA119).....	34
Illustration 30 : A gauche , rechargement de sable sur la plage de Hauteville-sur-Mer (photo : Tp Boutté) ; A droite , rechargement de galet sur la plage de Mers-les-Bains (photo : ville de Mers-les-Bains)	37
Illustration 31 : Schéma de l'explication du système de by-passing (Balouin et al., 2012)	38
Illustration 32 : Rejet de sable sur la plage de la Savane au sud de l'embouchure du Boucanot à Capbreton, France (Source, Mairie de Capbreton)	38
Illustration 33 : Photo de fleur de patate à Durand (CEDTM)	40
Illustration 34 : Photo de patate cochon (crédit photo : Bernard Dupont) et de sa fleur (crédit photo : Bob Peterson)	40

Illustration 35 : Photo de manioc marron bord de mer (CEDTM)	42
Illustration 36 : Photo de fleur de veloutier (CEDTM)	42
Illustration 37 : Photo de latanier rouge (CEDTM)	44
Illustration 38 : Photo de mahot bord de mer (Mova) et de sa fleur (CNAS).....	45
Illustration 39 : Photo de porcher (crédit photo : Forest and Kim Starr) et de sa fleur (crédit photo : David Eickhoff)	45
Illustration 40 : Pare-vent mis en place devant les plantations du milieu littoral le plus exposé aux embruns, réalisé à partir de feuilles de Choca et de branches de filaos (Perrigault et Triolo, 2010).	46
Illustration 41 : A gauche , photo du profil de plage de Grand Fond à Saint-Gilles-les-bains après un évènement de houles australes (campagne topographique du 28/07/2020) ; A droite , Reprofilage du haut de plage à St-Hilaire de Riez en Vendée (mai 2012 – source Ouest France)	47
Illustration 42 : Exemples d'aménagement, a) de clotûre, b) de grillage, c) d'ouvrage sur pilotis, dont la transparence hydraulique est forte, limitant l'obstruction des transferts sédimentaires (Campagne IMOCOR, respectivement SPA132, SPA 139 et SLE21).	48
Illustration 43 : A gauche , Exemple d'aménagement en « marche d'escalier » composé de fascines en bois (Campagne IMOCOR, SPA 035), A droite , Exemple de digue incliné à Loix, île de Ré, pouvant permettre de dissiper l'énergie des vagues lors des tempêtes (Forray, 2017)	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien de la patate à durand (<i>Ipomea pes-caprae</i>) ; (https://daupi.cbnm.org).....	40
Tableau 2 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien de la patate cochon (<i>Canavalia-rosea</i>) ; (https://daupi.cbnm.org)	41
Tableau 3 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du manioc bord de mer (<i>Scaevola taccada</i>) ; (http://www.mi-aime-a-ou.com).....	42
Tableau 4 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du veloutier (<i>Heliotropium foertherianum</i> / anciennement <i>Tournefortia argentea</i>) ; (https://daupi.cbnm.org).....	43
Tableau 5 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du latanier rouge (<i>Latania lontaroides</i>) ; (https://daupi.cbnm.org)	44
Tableau 6 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du mahot bord de mer (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) ; (http://www.mi-aime-a-ou.com).....	45
Tableau 7 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du porcher – bois de peinture (<i>Thespesia populnea</i> et <i>populneoides</i>) ; (https://daupi.cbnm.org)	46
Tableau 8 : Récapitulatif des avantages, des limites et des coûts des solutions douces présentées en lien avec les ouvrages littoraux.....	52

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

Le littoral est un milieu dynamique entre terre et mer, riche mais fragile d'un point de vue écologique, soumis à d'importantes pressions naturelles (houle, vent, tempête ...) ou anthropiques (tourisme, aménagements côtiers ...). La richesse de cet environnement et les enjeux écologiques, sociaux et économiques qu'il représente nécessitent une surveillance et une gestion raisonnée dans le temps, afin de conserver au mieux ces écosystèmes vulnérables.

L'île de la Réunion est un territoire fortement exposé aux différents aléas côtiers à savoir le recul du trait de côte et la submersion marine, notamment vis-à-vis du contexte climatique particulier de l'île (formations cycloniques et houles australes). Depuis les années 1950, la hausse de la population et des infrastructures touristiques et balnéaires sur le littoral, a entraîné une forte augmentation des enjeux dans cette zone, aggravant ainsi sa vulnérabilité.

La présence de ces nouveaux enjeux sur le littoral, soumis aux aléas côtiers, a engendré une artificialisation progressive du littoral réunionnais avec l'implantation de nombreux ouvrages (ouvrages portuaires ou murs en haut de plage par exemple). Ces derniers peuvent générer des impacts sur la dynamique naturelle des plages qu'il est nécessaire d'anticiper.

L'impact de ces ouvrages sur les dynamiques naturelles dépend fortement de leur nature, de leurs caractéristiques géométriques et structurelles, et de leur position sur le littoral.

Les ouvrages de type « murs » ont généralement une fonction de *délimitation* ou de *clôture* des parcelles privatives et sont donc situés en front de mer. Ils sont par conséquent fortement exposés aux submersions marines, aux vagues et à l'érosion côtière. De ce fait, ces ouvrages peuvent parfois être détruits par un évènement énergétique et nécessiter un entretien ou une rénovation partielle post-évènement.

De plus, la présence de ces ouvrages sur le littoral peut perturber les dynamiques naturels de transits sédimentaire, voire aggraver les phénomènes naturels d'érosion côtière et de submersion marine. Afin de limiter ces effets secondaires, plusieurs techniques alternatives, dites « douces » ou « souples », peuvent être mise en place.

1.2. OBJECTIFS

Ce guide, à destination des collectivités et des particuliers, a pour vocation de rappeler l'impact des différents types d'ouvrages de défense « durs », d'illustrer ces impacts à travers le contexte réunionnais et de proposer des alternatives « douces » permettant de limiter ces impacts sur le littoral de la Réunion et notamment sur les ouvrages délimitant les parcelles de particuliers.

2. Morphologie littorale

2.1. CONCEPT DE CELLULE SEDIMENTAIRE

Une cellule sédimentaire représente un compartiment du littoral possédant un fonctionnement relativement autonome du point de vue des transports sédimentaires par rapport aux compartiments voisins (De la Torre, 2004). Entre deux cellules voisines, les échanges sont faibles voire nuls.

Le domaine littoral est un système dont l'équilibre dépend des échanges de sédiments se produisant transversalement (échange cordon dunaire / haut de plage) et longitudinalement (dérive littorale) selon les marées, les houles, les courants associés et les vents. Entre deux cellules voisines, chacun de ces facteurs naturels influence une dynamique particulière. Sous l'action de ces derniers, les sédiments restent à l'intérieur de la cellule ou sortent définitivement du système littoral (Illustration 1), ce qui en fait un environnement particulièrement complexe à étudier.



Illustration 1 : **A gauche**, Carte de la commune de Saint-Paul, présentant deux exemples de cellules sédimentaires voisines à la Saline-les-Bains (orthophotographie 2017, IGN) ; **A droite**, Départ de sédiments vers le large à proximité de la passe de l'Ermitage (2004, BRGM)

Les limites entre cellules sédimentaires peuvent être constituées d'obstacles naturels (changement d'orientation de la côte, caps rocheux, embouchures de rivières, passes de dépressions arrière-récifales, ...) ou anthropiques (ouvrages maritimes, épis, brise-lames, remblais, ...) qui bloquent ou modifient les transits sableux (De la Torre, 2004).

L'implantation d'ouvrages dans ce milieu peut fortement influencer les dynamiques sédimentaires selon leur localisation à la fois le long de la côte mais également le long du profil de plage.

2.2. MORPHOLOGIE D'UN PROFIL DE PLAGE PAR SECTEUR

Afin de mieux comprendre l'impact de ces ouvrages sur les dynamiques sédimentaires, le profil de plage a été délimité en différentes zones représentatives des secteurs sur lesquelles ces dynamiques prennent place. Ces zones sont décrites ci-dessous (Illustration 2).

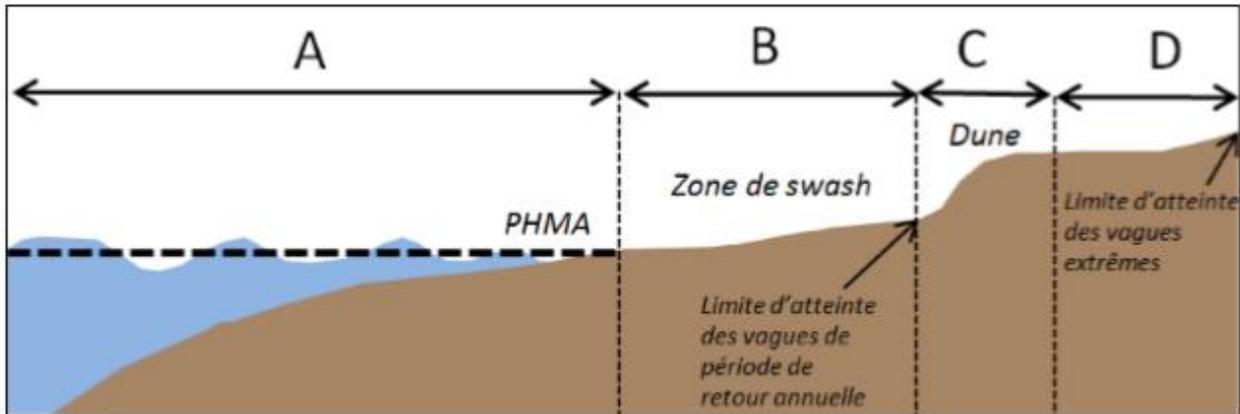


Illustration 2 : Sectorisation morphologique des différentes zones dynamiques le long d'un profil de plage (Chateauminois et al., 2016)

➤ Zone A : Zone d'avant-plage

Cette zone concerne la partie immergée de la plage (avant-plage). Sa limite supérieure a été considérée comme étant la limite de la plus haute mer de marée astronomique (PHMA). La limite basse de cette zone est constituée par le large ou le front récifal. Les ouvrages ou parties d'ouvrages situés dans cette zone ont un rôle perturbateur sur les transports qui s'y déroulent, et notamment sur les transports générés par les courants de dérive littorale, qui ont généralement une direction parallèle à la côte très marquée.

➤ Zone B : Zone de swash

La zone B est définie comme étant la zone de plage émergée balayée par les houles lors d'un événement de période de retour annuel. Cette définition permet de rattacher cette zone à une fréquence importante d'écoulements énergétiques (zone de swash) et donc à une zone soumise à d'importants flux sédimentaires. Au niveau géomorphologique cette zone correspond généralement à la limite de plus haute marée astronomique et du haut de plage, c'est-à-dire la plage située entre le niveau d'eau statique, et le premier marqueur morphologique de haut de plage : pied de dune, limite de végétation...

➤ Zone C : Zone dunaire

Sur une plage naturelle, la zone C correspond à la zone dunaire. Lorsque la dune n'existe pas comme c'est régulièrement le cas à La Réunion du fait d'une forte artificialisation de la plage, cette zone délimite la largeur sur laquelle la dune devrait s'étaler dans un contexte naturel. Cette zone permet de référencer les ouvrages présents sur la dune ou empêchant sa reformation.

➤ Zone D : Zone d'arrière dune

La zone d'arrière dune délimite le secteur pouvant être atteint par les vagues lors des événements extrêmes dont les périodes de retour seraient supérieures à 100 ans. Les écoulements hydrodynamiques dans cette zone restent donc possibles, mais ils sont rares et énergétiques.

Afin d'illustrer ces différents secteurs dans un contexte naturel, le zonage a été digitalisé sous SIG sur la base d'une ortho-photographie datant de 1950. Considéré ici comme un milieu naturel à l'équilibre, car beaucoup moins artificialisé qu'aujourd'hui (Illustration 3).



Illustration 3 : **A gauche**, Carte de la Saline-les-bains en 1950 ; **A droite**, Carte de la Saline-les-bains en 1950 couplée avec le zonage du cordon dunaire (ortho-photographie 1950)

Il est important de rappeler que tout aménagement réalisé sur le profil de plage, au niveau de la cellule sédimentaire, va engendrer une érosion plus importante du secteur. Ceci va avoir pour conséquence de fragiliser le milieu et de le rendre beaucoup plus sensible aux événements extrêmes et aux aléas marins, comme l'érosion côtière ou les submersions marines.

2.3. PRESENTATION DES ALEAS COTIERS

Le littoral est exposé à deux types d'aléas qui vont jouer un rôle déterminant dans son évolution. Le premier est relatif au recul du trait de côte (érosion côtière) et donc à la perte d'espace générée par les déplacements sédimentaires induits par les courants de houle et de marées normaux ainsi que les impacts liés aux événements extrêmes. Le deuxième concerne plutôt les secteurs qui sont susceptibles d'être inondés par la mer lors d'évènements extrêmes.

Une soixantaine de sites est connue pour être sensibles à l'aléa recul du trait de côte et/ou à la submersion marine sur l'intégralité du littoral de la Réunion (Illustration 4).

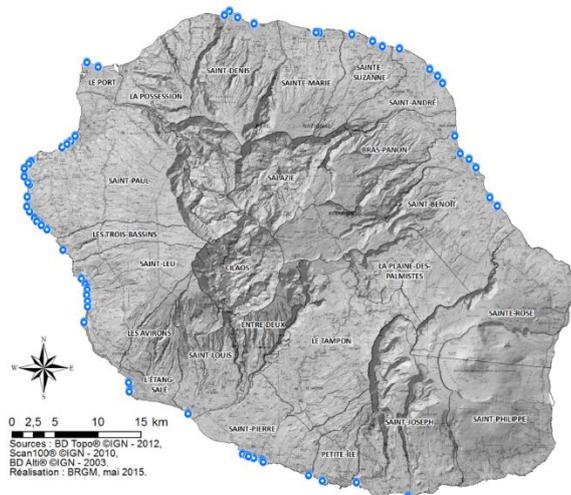


Illustration 4 : Sites sensibles aux aléas de submersion marine et/ou d'érosion côtière (Chateauminois, 2015).

2.3.1. Principe de l'aléa recul du trait de côte

Le recul du trait de côte se manifeste lorsque la mer gagne du terrain sur la terre et concerne aussi bien les côtes meubles (plages, dunes, marais maritime ...) que les côtes rocheuses. Ce phénomène intervient selon différents facteurs naturels, qu'ils soient subaériens (vent, pluie, température), marins (houle, marée, courants etc.) et parfois biologiques (action de la faune et de la flore sur les sédiments) (ANCORIM, Région Aquitaine).

En revanche, cet aléa peut être également influencer par des facteurs anthropiques (sur fréquentation, urbanisation, présence d'ouvrage, ...) qui ont tendance à aggraver ce phénomène d'érosion côtière.

Il s'agit d'un phénomène qui modifie la morphologie littorale selon les apports sédimentaires d'un site, et qui n'est pas uniformément réparti dans l'espace, pouvant affecter des secteurs plus sensibles que d'autres ou soumis à des processus d'érosion plus important. Il est également irrégulier dans le temps, marqué alternativement par des phases d'érosions puis d'accumulations visibles à des échelles de temps variables (saisonnier, pluriannuel, annuel ...). Ces évolutions sont normales et traduisent en fait de l'ajustement de la morphologie des côtes aux facteurs météo-marins. Dans le cas d'un littoral en déficit d'apports sédimentaire, la tendance évolutive à long terme sera au recul. A contrario, si le littoral présente un excédent d'apports sédimentaires, la tendance à long terme sera à l'avancée.

Le recul du trait de côte est nettement visible sur la plage de l'Ermitage par exemple, avec l'apparition des racines des filaos au fil du temps ou après un évènement extrême (Illustration 5).



Illustration 5 : A gauche, filaos victime de l'érosion de la plage de l'Ermitage (photo : imazpress) ; A droite, abaissement de la plage en présence d'un mur de soutènement (source : MSP)

L'occurrence d'évènements plus extrêmes et plus énergétiques, comme les houles australes ou les houles cycloniques, a également des conséquences très importantes sur le phénomène d'érosion côtière. Ces évènements sont beaucoup plus impactant sur le littoral, ce qui aura tendance à creuser le profil de plage et à aggraver l'érosion côtière lors de leur passage.

2.3.2. Principe de l'aléa submersion marine

La submersion marine est caractérisée par une inondation temporaire de la zone côtière par la mer.

Les processus physiques mis en jeu lors des phénomènes de tempêtes et pouvant entraîner les phénomènes de submersion marine, sont liés principalement aux conditions de marée, aux conditions météorologiques et aux conditions de houles (Illustration 6) et peuvent être définies selon différents paramètres :

- **La marée astronomique** : il s'agit de la variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la lune et du soleil. Elle est caractérisée par un niveau de basse mer (minimum du cycle de marée) et de pleine mer (maximum du cycle de marée).
- **Les conditions météorologiques** : la chute de la pression atmosphérique provoque une surélévation du niveau marin moyen, appelé « surcote atmosphérique » (ou « surcote de tempête »). Ceci est dû au phénomène de baromètre inverse. La perte d'un hectopascal (hPa) équivaut approximativement à une élévation d'environ 1cm du niveau marin.
- **Les conditions de houles** : elles sont principalement liées aux actions du vent. La houle génère deux phénomènes importants quant à la submersion marine, une surcote moyenne appelée « surcote des vagues » (ou « set-up ») qui est la déformation moyenne du plan d'eau près de la côte suite au déferlement des vagues et une variation du niveau d'eau sur la côte, appelée couramment « swash » ou jet de rive.

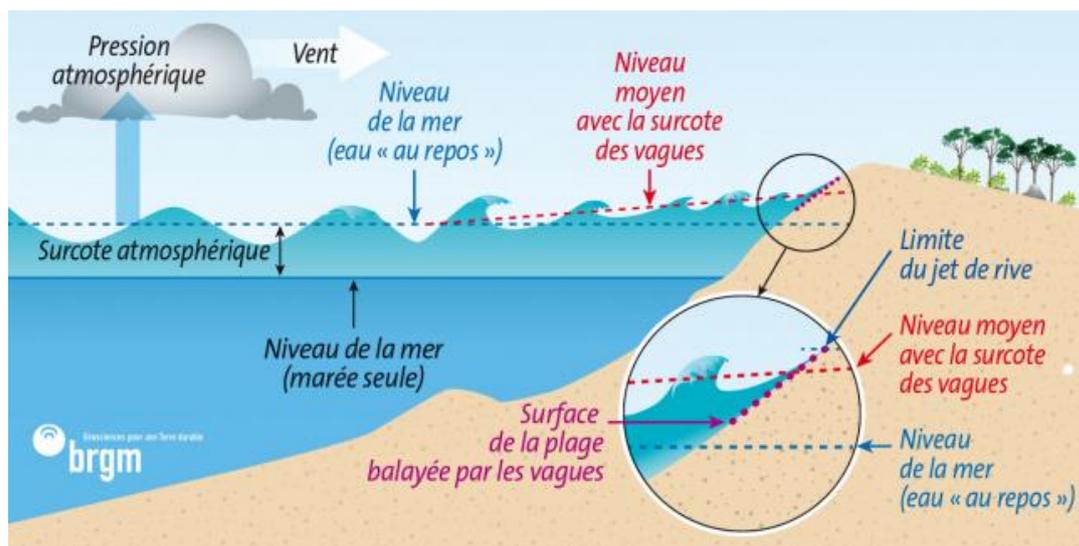


Illustration 6 : Schéma des phénomènes météo-marins ayant lieu lors d'une tempête et expliquant le phénomène de submersion marine à la côte.

Le niveau marin moyen lors d'une tempête ou d'un événement cyclonique correspond à l'addition de l'effet de baromètre inverse et de l'élévation du plan d'eau sous l'effet du déferlement des vagues et donc de l'addition de la « surcote atmosphérique » et de la « surcote des vagues ».

Le niveau des plus hautes mers est défini par le jet de rive. Les zones situées sous le niveau des plus hautes mers sont généralement soumises aux risques de submersions marines qui peuvent se produire de trois manières différentes (Illustration 7) :

- **La submersion par franchissement** (ou par paquets de mer) : dans ce cas, le niveau moyen de l'eau reste inférieur à la cote du rivage mais le jet de rive des vagues est suffisamment important pour franchir les ouvrages ou le cordon littoral. L'eau se déverse alors par salves successives. Si ce type de submersion engendre généralement des zones inondées moins étendues, le franchissement de paquets de mer peut endommager les constructions littorales et provoquer une accumulation d'eau dans certains secteurs qui se retrouvent alors submergés.
- **La submersion par débordement** : dans ce cas, le niveau moyen de l'eau (comprenant le niveau de la marée et les effets de surcote atmosphérique et de wave-setup) est supérieur à l'altitude du rivage (haut d'ouvrage ou terrain naturel). Toutes les zones en arrière dont l'altitude est inférieure à celle atteinte par la mer sont donc potentiellement submersibles.
- **La submersion par rupture du système de protection** : les terres en arrière d'un ouvrage se trouvent inondées si cet ouvrage est défaillant. L'eau s'engouffre dans la brèche, entraînant généralement une ruine totale de l'ouvrage en question (Illustration 8). La dynamique est similaire en cas de rupture d'un cordon naturel (dune de sable/cordon de galets).

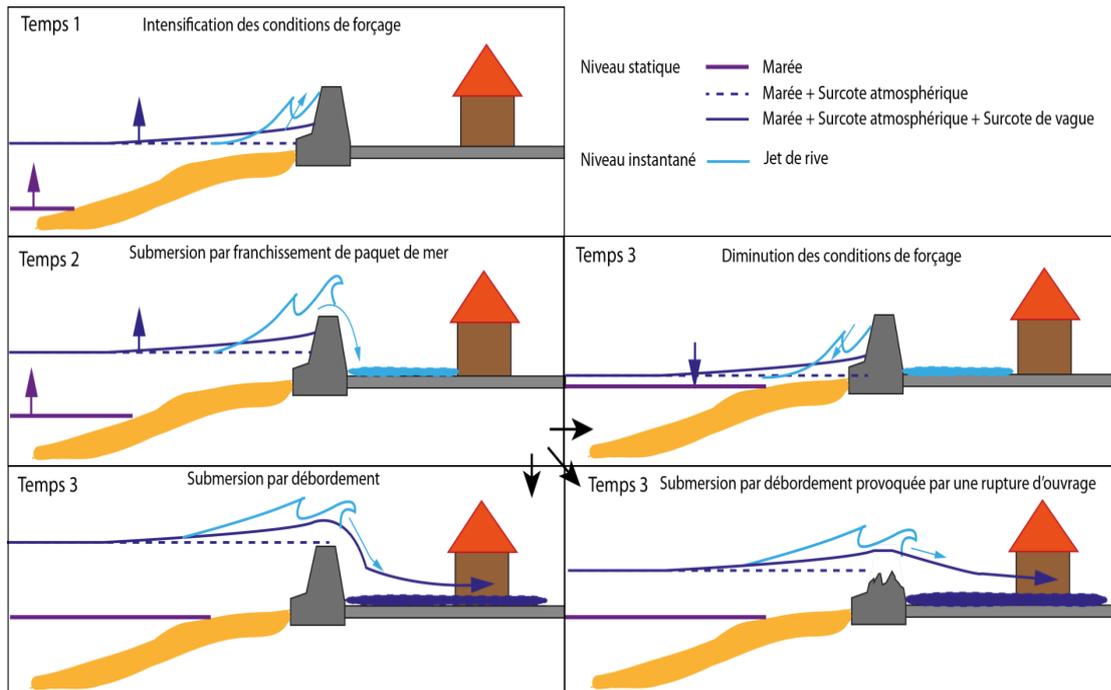


Illustration 7 : Les différents types de submersion marine (Pedreros R. & Garcin M. 2012)



Illustration 8 : Illustration d'une submersion par rupture de digue suite à la tempête Xynthia. (Photo: CG17)

Tout aménagement qui sera réalisé dans les zones exposées à ces deux phénomènes (recul du trait de côte et submersion marine) va générer des impacts qui doivent être pris en compte lors de sa conception afin d'éviter une aggravation de ces phénomènes.

Ces impacts sont connus et sont présentés dans les paragraphes suivants.

3. Impacts des ouvrages côtiers

Il existe différents types d'ouvrages de défense, répondant chacun à des problématiques particulières du milieu littoral. Cependant, ceux-ci peuvent engendrer d'autres conséquences impactant les dynamiques sédimentaires ayant lieu dans l'environnement côtier.

Le littoral de La Réunion est concerné par deux types d'ouvrages. Des ouvrages « durs » perpendiculaires à la plage, principalement situés au niveau des zones portuaires et des ouvrages de fond de parcelles de particuliers situés en haut de plage, qui seront traités dans une autre partie de ce guide.

3.1. OUVRAGES PERPENDICULAIRES A LA COTE

Les ouvrages perpendiculaires à la côte, généralement appelés « épis » ont pour principale fonction de réduire, voire d'interrompre le transit sédimentaire ayant lieu parallèlement à la côte, aussi appelé dérive littorale (Bougis, 2000).

L'interruption du transit sédimentaire a pour principale conséquence une accumulation importante de sédiment au niveau de l'ouvrage, en amont de la dérive littorale et une érosion marquée en aval (Illustration 9). C'est pour cela qu'il est important que l'épi ne bloque pas complètement le transit sédimentaire sous peine de générer une érosion accrue de l'autre côté de l'épi. Ces ouvrages sont installés sur les plages où dominent des transits sédimentaires parallèles à la côte.

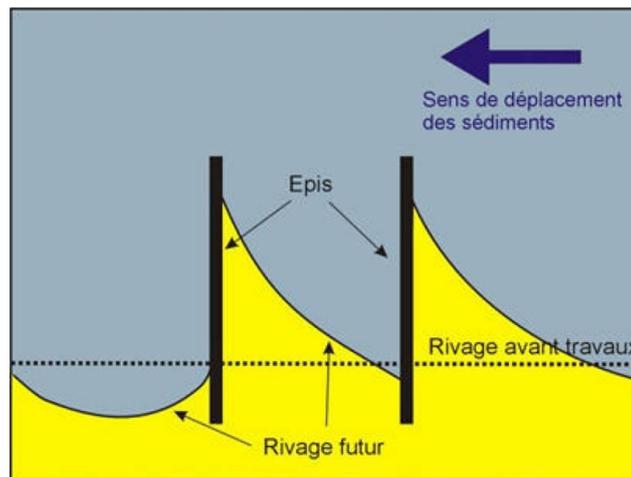


Illustration 9 : Schéma du principe de fonctionnement d'un épi (Balouin et al., 2012)

Généralement, il en résulte l'implantation de nouveaux ouvrages similaires afin de remédier aux effets de l'ouvrage précédent, ce qui entraîne une artificialisation progressive du littoral (Illustration 10).

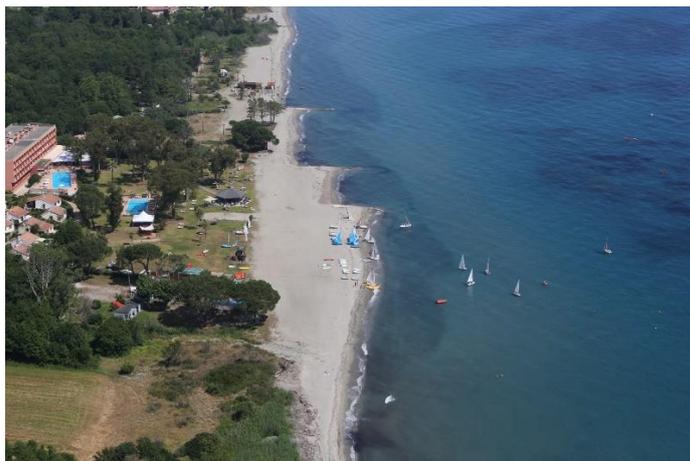


Illustration 10 : Exemple d'implantation d'épi sur le littoral de la côte est de la Corse (Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres)

3.2. OUVRAGES PARALLÈLES À LA COTE

3.2.1. Ouvrages de bas de plage

Les ouvrages parallèles de bas de plage, dénommés brise-lames, ont généralement pour objectif, d'une part, de réduire l'énergie apportée à la côte lors du déferlement des vagues et d'autre part, de s'opposer aux courants perpendiculaires à la ligne de rivage et donc aussi aux transferts sédimentaires le long du profil de plage (Illustration 11) (Bougis, 2000). Les brise-lames ne sont pas adaptés aux secteurs où le transit parallèle à la plage domine (Balouin *et al.*, 2012).

Conçus pour atténuer l'énergie des vagues à la côte lors de leur déferlement, ces ouvrages sont construits au large, au niveau de la zone d'avant-plage (cf. Illustration 2).

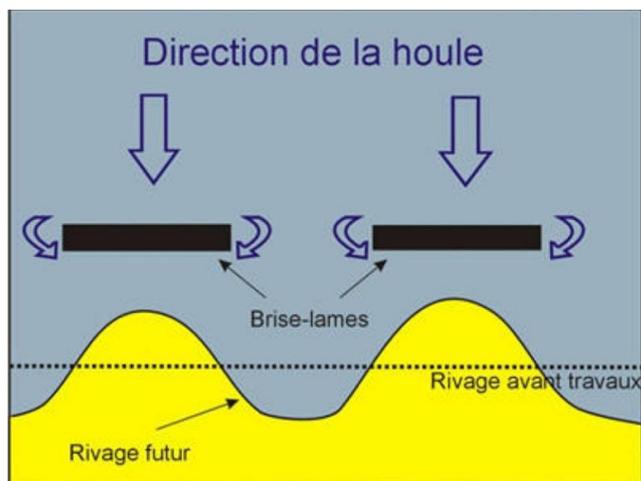


Illustration 11 : Schéma du principe de fonctionnement d'un brise-lame (Balouin *et al.*, 2012)

En prenant l'exemple du littoral du Languedoc-Roussillon (Illustration 12), la diminution de l'énergie des vagues entraîne une sédimentation et aura tendance à créer une avancée du trait de côte au droit de l'ouvrage mais une érosion plus importante entre deux ouvrages. Ceci pouvant aboutir à la formation d'un tombolo si l'ouvrage est suffisamment proche de la ligne de rivage.

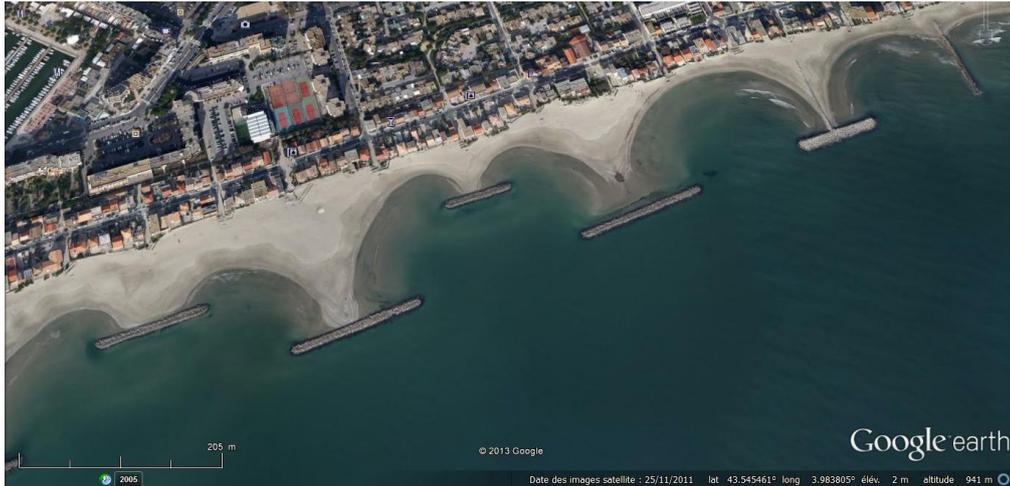


Illustration 12 : Effet des brises-lames sur le littoral du Languedoc-Roussillon.

3.2.2. Ouvrages de haut de plage

Le haut de plage est naturellement érodé lors des événements tempétueux et se restaure progressivement grâce à l'apport de sédiments et l'absence de phases érosives lors des périodes de beaux temps.

Les ouvrages de haut de plage disposés parallèlement au rivage constituent une barrière entre terre et mer. Ils sont utilisés pour fixer la ligne de haut de plage et protéger l'arrière plage des actions de la mer (Bougis, 2000).

La réflexion de la houle sur ces ouvrages lors des événements plus énergétiques, va intensifier l'action des courants et le niveau d'agitation à la base de ces ouvrages, entraînant une augmentation de la capacité de la mer à mobiliser les sédiments et à les transporter au large. La perte de ces sédiments engendre un phénomène d'affouillement à la base de l'ouvrage et un abaissement progressif de la plage (Illustration 13).

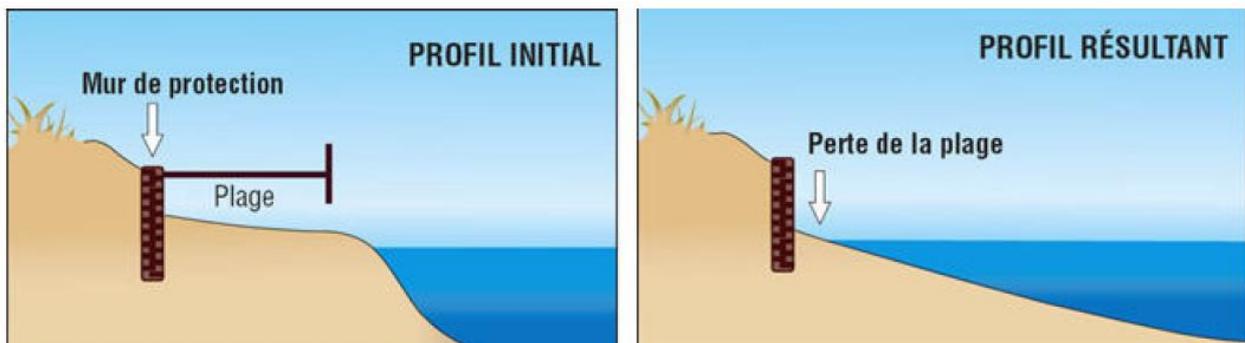


Illustration 13 : Schéma de fonctionnement d'un ouvrage longitudinal. (Balouin et al., 2012)

L'ouvrage, ainsi affouillé, peut se déchausser et basculer dans la fosse creusée dans le sable, au pied de l'ouvrage, créant ainsi une ouverture vers l'arrière-plage (Illustration 14).



*Illustration 14 : **A gauche**, exemple d'affouillement en pied d'ouvrage suite à un évènement de houles australes à l'été 2020 (plage des Roches Noires) ; **A droite**, basculement d'un ouvrage suite à un évènement de houle australe en 2019 (plage des Roches Noires).*

4. Exemples d'impacts d'ouvrages à la Réunion

Dans le contexte de gestion du Domaine Public Maritime, la DEAL a demandé au BRGM de réaliser une étude afin de caractériser l'impact des ouvrages côtiers de la côte ouest sur l'évolution morpho-dynamique du littoral réunionnais. La campagne IMOCOR lancée en 2014 par le BRGM a permis de recenser 435 ouvrages littoraux selon deux typologies, les aménagements portuaires et les ouvrages littoraux de taille plus modeste et d'évaluer leurs impacts morpho-dynamiques sur le littoral de la Réunion (Chateauminois et al., 2016).

Les résultats de cette étude ont montré que les ouvrages portuaires, principalement les ouvrages transversaux implantés sur le littoral, avaient un impact important sur les transits sédimentaires induits par la dérive littorale et étaient responsables de l'augmentation du phénomène d'érosion sur certains secteurs adjacents.

4.1. IMPACTS DES OUVRAGES PERPENDICULAIRES À LA RÉUNION

Au cours du XXème siècle, de nombreux aménagements portuaires ont eu lieu sur le littoral réunionnais, avec l'implantation de nombreuses digues et épis pour les protéger des actions de la mer. Ceci a engendré d'importantes modifications dans les dynamiques sédimentaires naturelles le long des côtes.



Illustration 15 : Carte du port de Saint-Gilles en 2017 (orthophotographie), présentant les différentes dynamiques sédimentaires ayant lieu à proximité de cet ouvrage.

Depuis la création du port de Saint-Gilles (Illustration 15) et de la construction d'un épi au niveau de la plage du Brisant, la dynamique sédimentaire a été fortement modifiée au sein de cette zone. Comme présenté précédemment, l'implantation d'un ouvrage transversal à la plage a provoqué l'interruption du transit sédimentaire. Ceci a entraîné une forte accumulation de sable en amont de la dérive littorale, au niveau de la plage des Brisants et une forte érosion en aval de la dérive, au niveau de la plage des Roches noires.

Ce phénomène peut être observé sur plusieurs sites portuaires ou secteurs sur le littoral réunionnais présentant des ouvrages transversaux à la ligne de rivage. Ces ouvrages entraînent les mêmes problématiques de blocage sédimentaires sur les secteurs en amont de la dérive et d'aggravation de l'érosion sur les secteurs en aval (Illustration 16).

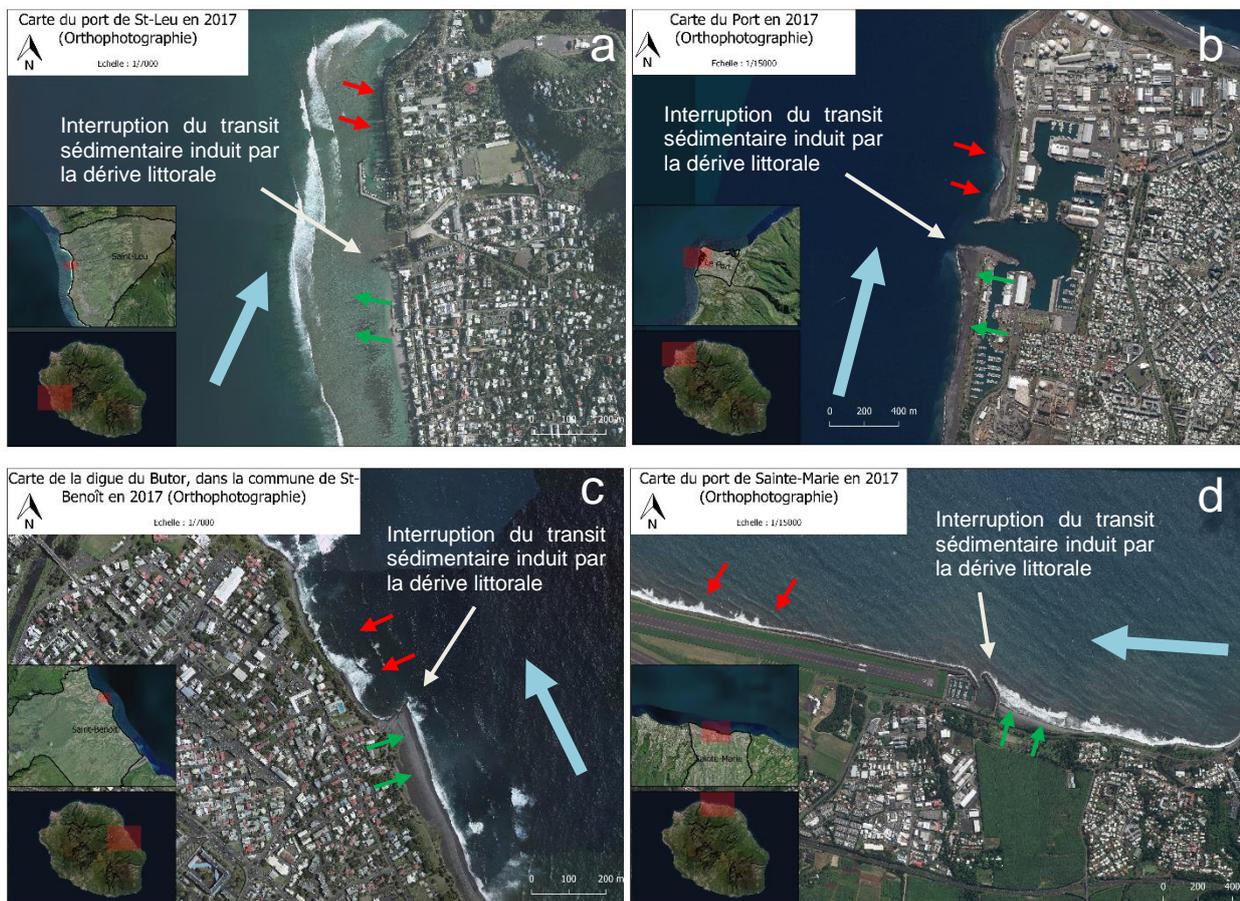


Illustration 16 : Carte des dynamiques sédimentaires ayant lieu au niveau : a) du port de Saint-Leu, b) du Port, c) de la digue du Butor et d) du port de Sainte-Marie (orthophotographie 2017).

Une étude menée en partenariat entre le BRGM et la DEAL est en cours afin d'évaluer les volumes sédimentaires accumulés sur certains de ces secteurs, principalement autour du port de Saint-Gilles-les-bains, de la digue du Butor à Saint-Benoît et du port de Sainte-Marie afin d'envisager la mise en place d'opérations de transferts sédimentaires afin de rétablir artificiellement la dérive littorale interrompue jusqu'alors.

4.2. IMPACTS DES OUVRAGES PARALLÈLES DE HAUT DE PLAGE À LA RÉUNION

Il existe une importante variabilité d'ouvrages de hauts de plage sur le littoral réunionnais mais ce sont en majeure partie des ouvrages de types murs, délimitant les parcelles de particuliers (Illustration 17) et donc situés principalement dans la zone de swash (Zone B) et la zone dunaire (Zone C) (cf. Illustration 2) du profil de plage. Aucun aménagement de type brise-lames n'est présent sur le littoral réunionnais.

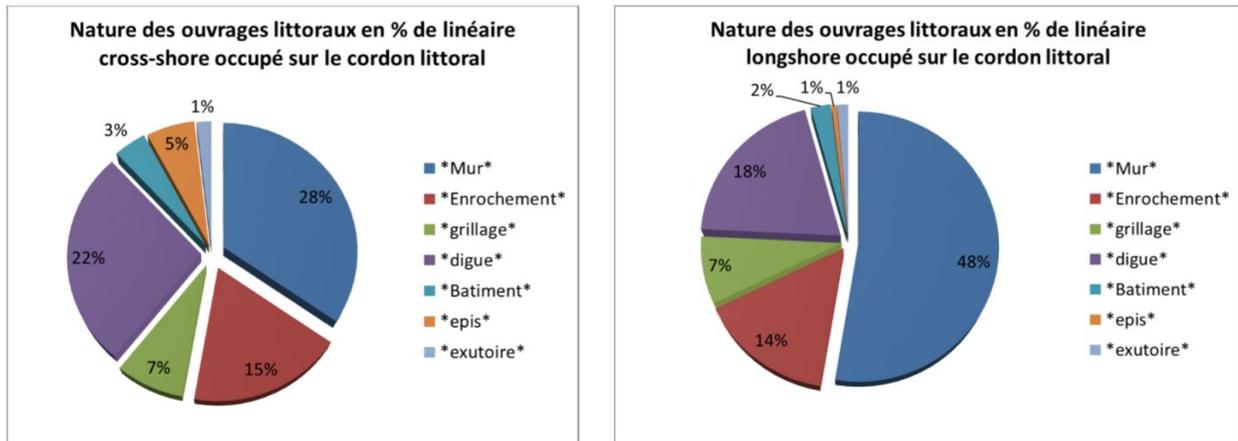


Illustration 17 : **A gauche**, schéma représentant la nature des ouvrages littoraux transversaux (cross-shore) en pourcentage de linéaire sur le cordon littoral ; **A droite**, schéma représentant la nature des ouvrages littoraux longitudinaux (longshore) en pourcentage de linéaire sur le cordon littoral (Chateauminois et al., 2016).

La principale conséquence de la présence de ces ouvrages est l'interruption des transferts sédimentaires entre la dune et le haut de plage, la dune étant une réserve naturelle de sédiments. Ceci entraîne progressivement un abaissement et un recul de la plage soumis à l'action érosive des vagues pouvant amener à la disparition totale de la plage.

4.2.1. Catégorisation des ouvrages de types « murs »

Sur la base de la campagne de recensement des ouvrages IMOCOR ayant eu lieu en 2014, le littoral réunionnais présente une grande variété de typologie d'ouvrages de type « murs ». Afin de faciliter leur catégorisation, les « murs » ont été réunis dans trois catégories générales qui ont été définies selon la morphologie et l'imperméabilité aux écoulements d'eau.

- **Murs pleins**

Ces ouvrages sont généralement constitués de pierres ou de parpaings maçonnés et présentent une forte imperméabilité aux écoulements et donc aux transferts sédimentaires entre la dune et le haut de plage. Cette catégorie « murs pleins » prend en compte tous les ouvrages uniformes de plus de 1 m de hauteur (Illustration 18).



Illustration 18 : Photo de deux ouvrages de type mur (Campagne IMOCOR : respectivement SPA134 et SPA065)

- **Murs mixtes**

Comme leur dénomination l'indique, ces ouvrages sont composés d'au moins deux parties suffisamment distinctes pour être différenciées. Principalement constitués d'un muret en pierres ou parpaings maçonnés à la base, et surmontés soit d'une clôture en bois, soit d'un grillage, ils ont une imperméabilité faible à forte qui dépend de la hauteur du muret à la base et du type d'aménagement le surplombant (Illustration 19).



Illustration 19 : Photo de deux ouvrages de type mur mixte (Campagne IMOCOR : respectivement SPA138 et SPA150)

- **Clôtures et grillages**

L'imperméabilité de ce type d'ouvrage est souvent nulle ou faible. Les clôtures sont généralement en bois, constituées de planches verticales suffisamment espacées pour permettre les écoulements d'eau (Illustration 20).



Illustration 20 : Photo de deux ouvrages de type clôtures et grillages (Campagne IMOCOR : respectivement SPA132 et SPA139)

Chacune de ces catégories d'ouvrages impact son environnement proche selon sa morphologie, sa constitution et sa localisation sur le profil de plage.

4.2.2. Impact du positionnement des ouvrages en haut de plage

L'impact d'un ouvrage sur les dynamiques naturelles dépend de sa position sur le profil de plage et sera d'autant plus fort qu'il sera implanté proche du rivage. L'exemple de la plage de Saint-Pierre est une parfaite représentation des conséquences liées à la localisation d'un ouvrage imperméable trop proche du trait de côte (Illustration 21).



Illustration 21 : Evolution morphologique de la plage de Saint-Pierre entre 1950 et 2017, avec la localisation de l'ouvrage de type mur responsable de la disparition de la plage, ainsi que la passe littorale au large (Orthophotographies, IGN).

En 67 ans, la plage de Saint Pierre a connu un important remaniement sédimentaire. Alors qu'en 1950 la plage était rectiligne et de largeur égale et régulière, elle a connu, suite à l'installation de l'ouvrage, une érosion massive de la partie centrale amenant à sa disparition totale entre 1966 et 1978 (zone située dans le secteur de la gendarmerie).

Durant cette période, un mur imperméable a été construit sur le haut de plage afin de protéger un tronçon d'habitation existant. Depuis, et particulièrement au-devant de cet ouvrage, la partie centrale de la plage n'a jamais retrouvé son état d'origine (Illustration 22).



Illustration 22 : Photo de l'ouvrage imperméable responsable de la disparition de la plage à Saint-Pierre (Campagne OBSCOT, 28 juillet 2020)

De plus, la présence d'une passe littorale en face de cet ouvrage, qui est une zone préférentielle pour le départ de sédiments vers le large, contribue à rendre ce secteur du littoral plus vulnérable à l'érosion et moins susceptible de retenir d'importante quantité de sédiments.

Cependant, la plage de Saint-Pierre située à l'est de cet ouvrage, dans le secteur de la Gendarmerie, présente une érosion progressive au fil des années (Belon R. et Moutoussamy L., 2019) mais la plage de ce secteur est toujours présente et active en 2020, et ce, malgré la présence d'un autre ouvrage imperméable en haut de plage (Illustration 23). Ceci peut être expliqué par la localisation de l'ouvrage. Ce dernier ayant été construit une dizaine de mètres plus en retrait sur la plage que l'ouvrage voisin.



Illustration 23 : Photo de la plage de Saint-Pierre encore présente malgré la présence d'un ouvrage imperméable en haut de plage (Campagne OBSCOT, 28 juillet 2020).

Cependant, dans le cadre des observations menées dans le programme OBSCOT (Belon R. et Moutoussamy L., 2019), ce secteur semble toutefois avoir été impacté de manière irréversible suite aux houles australes de mai 2007 mettant en avant l'impact de l'ouvrage en conditions de forte houle (Illustration 24).

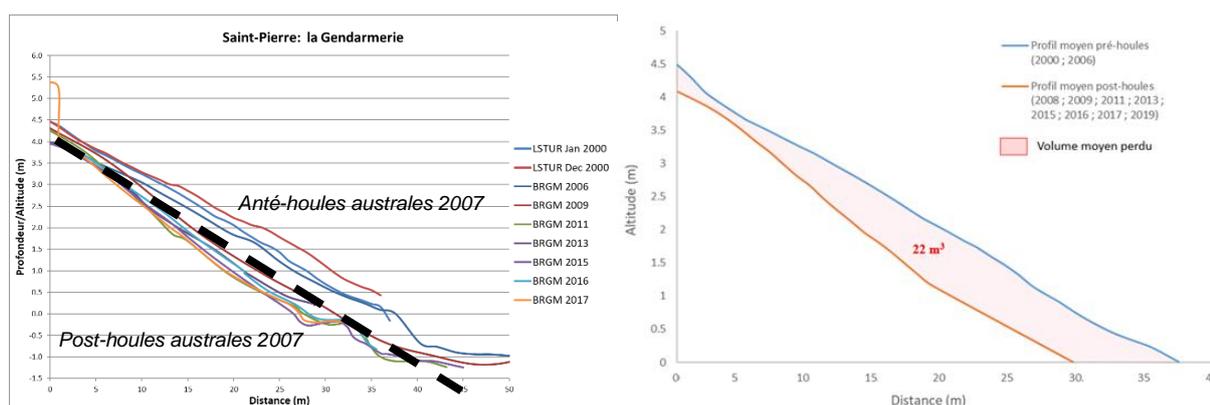


Illustration 24 : Evolution topographique du profil de plage en face de la gendarmerie à Saint Pierre

Ce constat confirme l'effet néfaste et très localisé de la présence d'un ouvrage trop proche du rivage (en contact avec les lames d'eau générés par les vagues), et l'importance de la localisation le plus en retrait possible vers les terres d'un ouvrage, sur le profil de plage. Un ouvrage trop proche va à la fois entrainer une perte des sédiments pouvant aller jusqu'à la disparition de la plage et de ce fait augmenter la vulnérabilité de l'ouvrage et des enjeux situés en arrière.

Un autre aspect de l'impact des ouvrages littoraux concerne leur typologie et leur capacité à laisser passer les écoulements d'eau et les transferts sédimentaires en haut de plage.

4.2.3. Impact morphologique sur le haut de plage suivant les typologies d'ouvrages (exemple : plage de la Saline-les-Bains)

Un secteur particulièrement intéressant à observer est la plage de la Saline-les-Bains. Cette zone regroupe différents types d'ouvrages suffisamment proches les uns des autres pour être soumis à des conditions hydrodynamiques similaires. La plupart des ouvrages de cette zone sont situés

proche de la jonction des zones B et C du cordon littoral au niveau de la dune, présentées précédemment (cf : Illustration 2).

Sur ce secteur, la morphologie de la plage diffère de façon importante en l'espace de quelques dizaines de mètres et il est possible d'observer deux zones distinctes (Illustration 25) :

- **La plage au sud-est** : elle se caractérise par une importante présence de végétation en haut de plage.
- **La plage au nord-ouest** : elle présente une végétation beaucoup moins importante que la zone précédente.

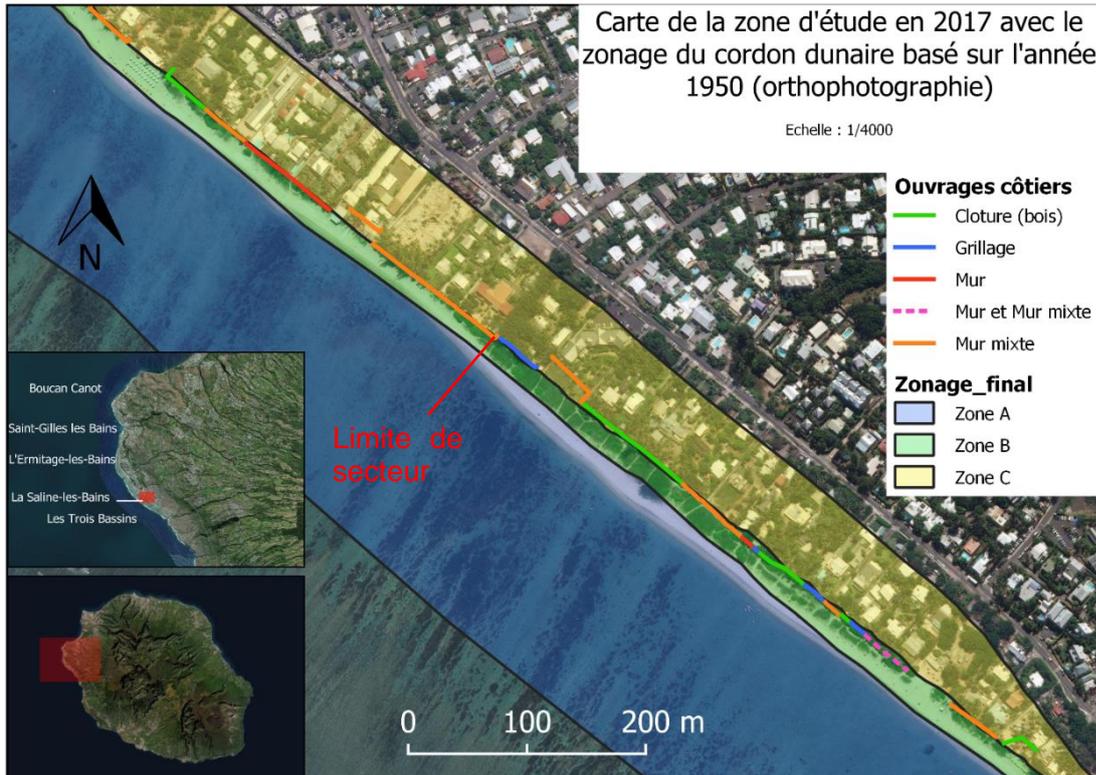


Illustration 25 : Carte de l'exemple situé à la Saline-les-Bains, couplé avec le zonage du cordon littoral et la typologie des ouvrages présents en haut de plage (Orthophotographie 2017, IGN)

En observant plus en détails la composition des ouvrages présents en haut de plage sur ces deux zones, il est possible de remarquer deux typologies d'ouvrages différentes.

La partie sud-est de la plage présente, en effet, une majorité d'ouvrage composée essentiellement de clôtures et de grillages, mais aussi d'ouvrages de type « mur mixte » à l'imperméabilité faible ou nulle (Illustration 26 : Rectangle vert). En revanche, la partie au nord-ouest présente quant à elle une majorité de murs et de murs mixtes, dont l'imperméabilité est relativement forte (Illustration 26 : Rectangle orange).



Evolution morphologique de la plage de la Saline selon le trait de côte de bas de plage de 1950, au niveau de deux zones définies selon l'imperméabilité des ouvrages présents sur le littoral. (Orange = Imperméabilité forte ; Vert = Imperméabilité faible)



Illustration 26 : Carte de l'évolution morphologique de la zone d'étude située à la Saline-les-Bains selon le trait de côte de bas de plage de 1950, au niveau de deux zones définies selon l'imperméabilité des ouvrages présents en haut de plage (Orange = Imperméabilité forte ; Vert = Imperméabilité faible) (Orthophotographie 2017, IGN)

En additionnant ces observations avec l'évolution historique de l'artificialisation du littoral entre 1950 et 2017 selon chaque secteur défini (Illustration 27), la morphologie de la plage de la Saline semble commencer à évoluer entre 1966 et 1978, fourchette dans laquelle une forte artificialisation du littoral a eu lieu.

En supposant que les ouvrages n'aient pas été modifiés entre la campagne de recensement IMOCOR et leur implantation sur le littoral, il est probable que l'implantation de ces ouvrages soit responsable de l'état morphologique actuel de la plage de la Saline.

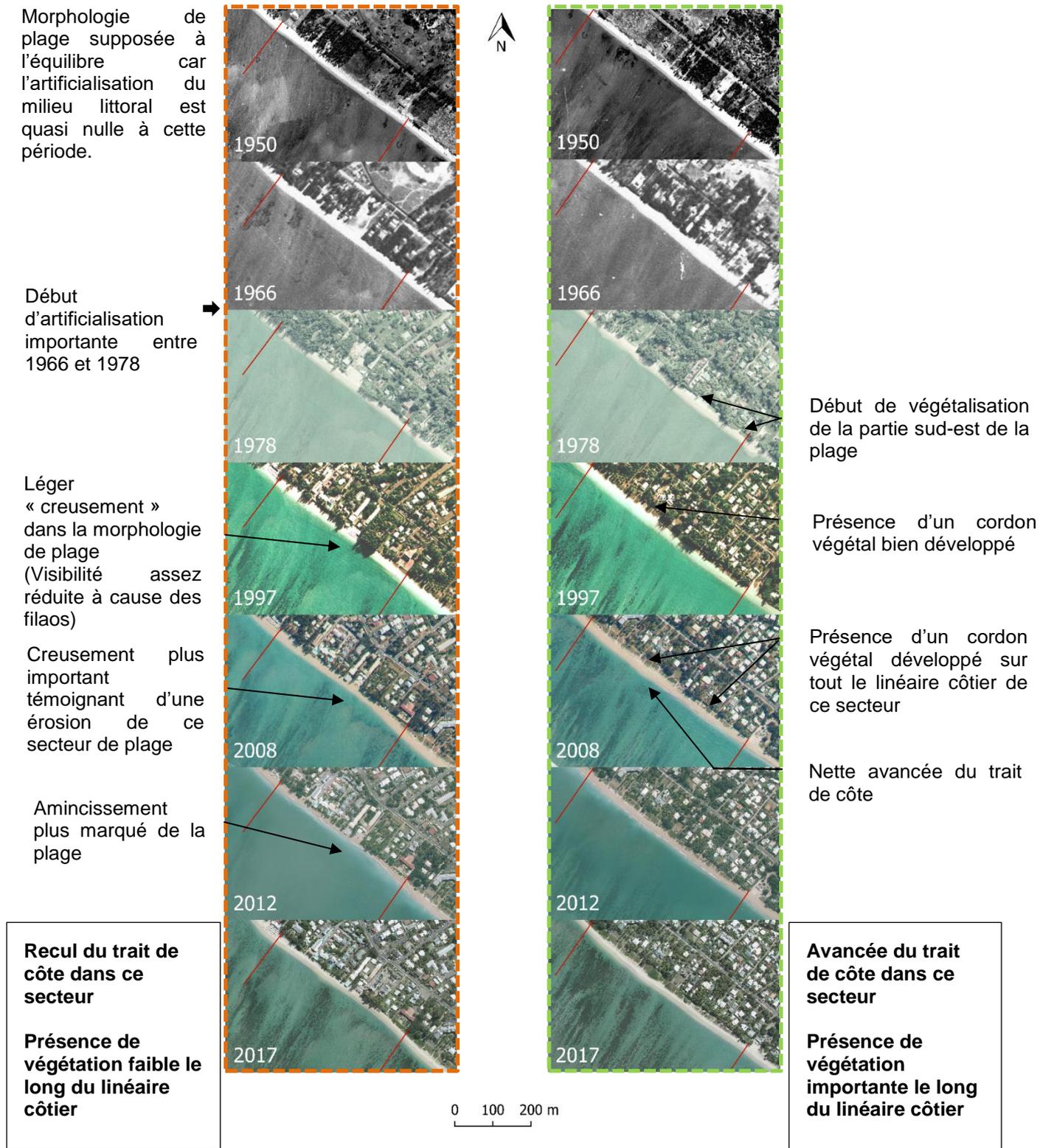


Illustration 27 : Carte et description de l'évolution morphologique de deux secteurs voisins, définis selon l'imperméabilité des ouvrages présents en haut de plage, au fil du temps (1950, 1966, 1978, 1997, 2008, 2012, 2017 ; IGN).

La comparaison visuelle de ces deux secteurs selon les différentes ortho-photographies historiques existantes, tend à montrer que la plage située au sud-est est dans un meilleur

équilibre sédimentaire que la partie au nord-ouest. En effet, cette zone présente une végétation plus importante et une avancée du trait de côte vers la mer, contrairement à la zone au nord-ouest qui présente une végétation plus éparse et un léger recul du trait de côte depuis 1950.

La comparaison morphologique du littoral de ce secteur au cours du temps a été appuyée par l'utilisation de l'extension d'ArcGis « DSAS ». Cet outil a permis de montrer l'évolution du trait de côte au cours du temps selon les ortho-photographies utilisées dans l'illustration 27 (1950, 1966, 1978, 1997, 2003, 2008, 2012, 2017). Cette analyse a permis d'obtenir le taux d'évolution de la plage de la Saline en mètres par an, selon 29 profils espacés de 100m les uns des autres tout le long du linéaire côtier de la plage de la Saline.

Cependant, l'incertitude de la localisation du trait de côte sur les ortho-photographies correspondant aux années 1978, 1997 et 2012 étant trop importante, notamment due à la qualité de l'image, à une houle trop forte lors de la prise de vue ou à la présence d'éléments masquant le trait de côte, ces linéaires ont été écartées de l'analyse DSAS

La cellule sédimentaire de la Saline présentant un linéaire côtier relativement homogène sans fortes disparités d'un profil à l'autre, les taux d'évolutions sur le secteur de la Saline ont pu être classés par catégories de vitesse d'évolution (en m / an) soit :

- Erosion très forte : supérieur à -0.20 m/an.
- Erosion forte : de -0.20 à -0.10 m/an.
- Erosion faible : de -0.10 à -0.02 m/an.
- Stable : de -0.02 à 0.02 m/an.
- Accrétion faible : de 0.02 à 0.10 m/an.
- Accrétion forte : de 0.10 à 0.20 m/an.
- Accrétion très forte : supérieur à 0.20 m/an

Ces taux d'évolution sont présentés sur l'illustration 28 en mètres par an.

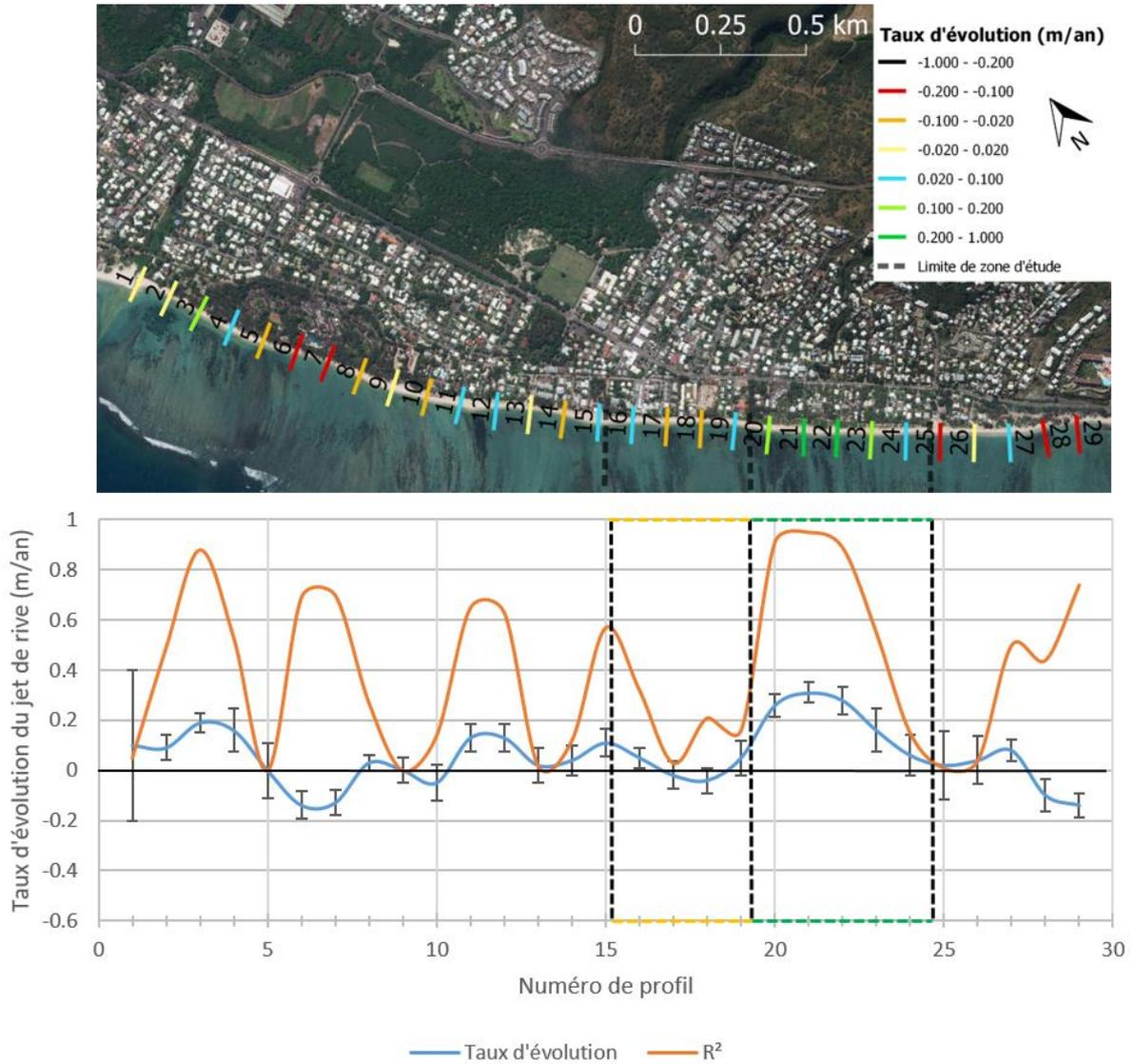


Illustration 28 : Taux d'évolution de la position du trait de côte sur la plage de la Saline-les-Bains et coefficient de détermination R^2 selon différents trait de côte compris entre 1950 et 2017 (m/an)

L'évolution morphologique de la plage de la Saline dans ce secteur montre clairement deux tendances distinctes.

Globalement, la première tendance montre une dynamique relativement stable de cette zone entre érosion et accrétion, présentant un taux d'évolution oscillant entre -0.2 et 0.2 m/an tout le long de ce linéaire côtier. Présentant un coefficient de détermination R^2 ³ élevé au niveau de chaque tendance d'érosion ou d'accrétion, variant entre 0.5 et 0.95 sur certain secteur et témoignant d'une certaine justesse dans l'évaluation du taux d'évolution.

³ Le coefficient de détermination, noté R^2 ou r^2 , est une mesure de la qualité de la prédiction d'une régression linéaire et varie entre 0 et 1. Dans cet exemple, lorsque le R^2 est proche de 0, le taux d'évolution du jet de rive sera plus variable et ne témoignera pas d'une évolution significative. En revanche, lorsqu'il sera proche de 1, le taux d'évolution du jet de rive prédit par le modèle aura une tendance plus linéaire et son évolution sera plus significative.

La seconde tendance est visible au niveau de la zone d'étude réalisée sur la plage de la Saline (Illustration 28 : traits noirs en pointillés). Le secteur sud-est de la plage, présente une nette avancée d'environ 20 mètres du trait de côte au-devant des ouvrages perméables entre 1950 et 2017, avec un taux d'évolution compris au-delà de 0.20 m / an (Illustration 28 : secteur vert). Tandis que le secteur situé plus au nord-ouest, composés d'ouvrages à l'imperméabilité forte en haut de plage, présente un léger recul du trait de côte d'environ 3.5 mètres au niveau du bas de plage avec un taux d'évolution d'environ -0.05 m / an (Illustration 28 : secteur orange). En revanche, le coefficient de détermination R^2 est relativement faible sur le secteur nord-ouest, en comparaison du reste de l'étude ($R^2 = 0.2$). Ceci peut montrer une tendance d'alternance entre des phases d'avancées et des phases de reculs du jet de rive dans ce secteur, et ce malgré la présence d'ouvrages imperméables en haut de plage.

Cependant les apports sédimentaires générés par les transferts longitudinaux semblent moins importants que le secteur voisin. La présence d'ouvrages imperméables dans ce secteur peut freiner la mise en place des sédiments en haut de plage. Il est alors difficile de considérer que la présence de ces ouvrages imperméables en haut de plage soit le seul facteur responsable de la tendance plutôt érosive de ce secteur.

En revanche, il est également important de remarquer que le secteur sud-est de la zone d'étude, présentant des ouvrages plus perméables aux écoulements et aux transferts sédimentaires, est le seul secteur qui connaît une forte tendance à l'accrétion sur ce linéaire, appuyé par un R^2 de 0.95 (Illustration 28 : secteur vert). Cet exemple tend à montrer que la présence d'ouvrages plus souples et favorisant les transferts sédimentaires en haut de plage, est une solution plus viable dans le maintien d'un équilibre dynamique des plages.

Cependant, l'analyse de l'Illustration 28 présente également un second secteur intéressant le long de la plage de la Saline, situé au-devant de l'hôtel LUX Saint-Gilles, au niveau des profils 6 et 7. Ce secteur illustre une tendance élevée à l'érosion mais présente, tout comme le secteur précédent, des ouvrages plutôt perméables aux transferts sédimentaires (Illustration 29).



Illustration 29 : Photographies des ouvrages présents devant l'hôtel LUX Saint-Gilles à Saint-Gilles-les-Bains issues de la Campagne IMOCOR de 2014 (respectivement SPA118 et SPA119).

Une passe littorale est présente à environ 500m au nord de ce secteur, celle-ci peut engendrer une perte de sédiments vers le large. De plus, la présence d'un hôtel en arrière plage et donc d'une fréquentation plus importante dans ce secteur et des opérations historiques de nettoyage de la plage, aurait également tendance à accélérer l'érosion dans cette zone.

Cet exemple tend à montrer que la présence d'ouvrages plus souples en haut de plage comme seule alternative pour contrer l'érosion n'est pas une solution suffisante et peut nécessiter la mise en place d'autres alternatives souples, comme une végétalisation du haut de plage par exemple,

afin de gérer plus efficacement l'érosion côtière de certains secteurs plus sensibles. Ces alternatives sont présentées par la suite.

5. Exemples de solutions alternatives et recommandations

En constatant l'impact des différents ouvrages construits pour fixer le trait de côte sur les dynamiques littorales, plusieurs solutions alternatives peuvent être proposées afin d'être plus respectueuses des dynamiques naturelles et de composer avec ces dernières pour maintenir au mieux l'équilibre naturel des plages et des littoraux.

5.1. ALTERNATIVES POUR LES OUVRAGES PERPENDICULAIRES A LA COTE

5.1.1. Le rechargement artificiel en sédiment

Il s'agit de la méthode alternative la plus utilisée à travers le monde (De la Torre, 2014). Dans le cas d'une plage avec un bilan sédimentaire en déficit, le rechargement permet de combler ce déficit, sans perturber les processus naturels ayant lieu sur la côte et permet de réduire la vulnérabilité de la plage face aux submersions marines. Pour ce faire, l'alimentation de la plage doit se faire à partir de matériel sédimentaire, si possible, extérieur à la cellule hydro sédimentaire ou situé dans les zones d'accumulation sableuse situées dans la cellule (accumulation le long d'un épi portuaire en amont dérive par exemple) via des engins mécaniques (Illustration 30).



Illustration 30 : **A gauche**, rechargement de sable sur la plage de Hauteville-sur-Mer (photo : Tp Boutté) ; **A droite**, rechargement de galet sur la plage de Mers-les-Bains (photo : ville de Mers-les-Bains)

Pour être pérenne dans le temps, le rechargement doit être adapté au matériel sédimentaire présent en fonction de la nature, de la granulométrie et du tri des sables. Sachant qu'un grain légèrement plus grossier que celui d'origine peut également être utilisé. Il convient en premier lieu, de prendre en considération la bathymétrie et le fonctionnement hydro sédimentaire de la cellule, en fonction des conditions de houles, des courants littoraux ainsi que de la population benthique (espèces vivant dans les fonds sableux), dans le but d'optimiser l'opération.

Néanmoins, le rechargement n'a pas pour objectif de stopper définitivement le phénomène d'érosion, mais d'en limiter les effets temporairement, en lien avec le volume de sable à fournir. Plusieurs rechargements successifs sont généralement à prévoir au fil des saisons, et le prélèvement des matériaux nécessaires au rechargement doit être suffisamment proche afin de limiter les coûts et les nuisances liés au transport. L'estimation du stock de sédiment disponible et le contexte hydrodynamique du secteur à recharger sont donc des facteurs prépondérants à la réalisation d'un rechargement de plage.

5.1.2. Le système By-pass

Le système by-pass consiste à établir un transfert sédimentaire artificiel permettant aux sédiments de franchir un obstacle naturel (cap rocheux, débouché d'un cours d'eau) ou anthropique (jetée, épi...) (Illustration 31). Cette méthode permet d'établir ou de ré-établir le transit sédimentaire le long de la côte (dérive littorale) d'où la nécessité de bien connaître la dynamique sédimentaire de la zone.

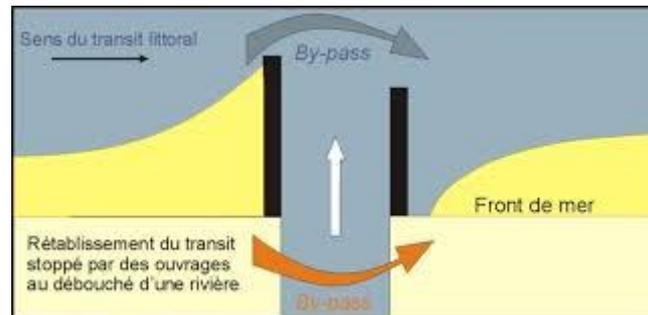


Illustration 31 : Schéma de l'explication du système de by-passing (Balouin et al., 2012)

Le transfert sédimentaire peut être effectué par l'installation d'un système de succion d'un mélange d'eau et de sable d'un côté de l'obstacle avec un refoulement de l'autre côté (Illustration 32) ou de manière mécanique avec l'acheminement du sable par camions de part et d'autre de l'obstacle. L'avantage de cette technique est qu'elle permet d'équilibrer les zones en accrétion et en érosion sans apport de matériaux exogènes.



Illustration 32 : Rejet de sable sur la plage de la Savane au sud de l'embouchure du Boucanot à Capbreton, France (Source, Mairie de Capbreton)

L'impact paysager reste faible (hormis durant la phase de construction) et celui sur le benthos équivaut à celui des rechargements artificiels de sable (enfouissement des espèces vivant sur ou dans le sable). La limite principale est le coût très important de la mise en œuvre et de l'entretien (De La Torre, 2014). Ce type d'installation n'est donc justifié que lorsque l'activité économique, touristique ou portuaire est menacée (analyse coût/bénéfice).

5.2. ALTERNATIVES POUR LES OUVRAGES DE HAUT DE PLAGES PARALLÈLES À LA CÔTE

5.2.1. Localisation et zonage des ouvrages en haut de plage

L'impact d'un ouvrage sur les dynamiques sédimentaires littorales, sera plus ou moins important en fonction de sa localisation sur le profil de plage. Il est nécessaire de préciser que la plage a besoin d'espace pour réussir à conserver un état d'équilibre sur le long terme. La présence d'aménagements sur le littoral va perturber cet état d'équilibre et empêcher la dynamique naturelle de la plage.

Plus un ouvrage sera bâti proche du rivage et moins la plage aura d'espace pour se développer (cf. 3.2.2.). Il est donc nécessaire de maximiser la zone de mobilité de la plage lors de l'installation d'un ouvrage, et de le construire préférentiellement en zone C ou D le long du profil de plage. Ceci permet de limiter son impact sur les dynamiques littorales présentées précédemment et d'aider à l'implantation de végétation au niveau du haut de plage.

5.2.2. Intérêt et principe de la végétalisation de haut de plage

La présence ou l'absence de végétation sur les hauts de plage est généralement un bon indicateur pour savoir si une plage est dans une dynamique équilibrée ou non. Les végétaux positionnés en haut de plage ou sur l'avant dune ont un rôle important de piégeage de sable et d'atténuation de l'impact des lames d'eau, notamment grâce à leurs réseaux racinaires profonds et étendus qui retiennent le sédiment. Ils permettent d'accélérer l'accumulation de sédiments et donc l'engraissement de la plage. En piégeant les sédiments, la végétation sert de mesure de protection naturelle contre l'érosion côtière (Juneau et al., 2012, Chateauminois et al, 2016).

En plus de son rôle dans la défense contre l'érosion côtière, la végétation permet de réduire l'impact des événements de tempêtes en dissipant l'énergie des vagues mais aussi de limiter l'impact des submersions marines en augmentant le volume sédimentaire en haut de plage tout en jouant le rôle de barrière sur les débris apportés lors de ces événements. Il s'agit du moyen de protection naturel de la plage pour contrer les effets des aléas côtiers.

Cependant, il est important de préciser que toute végétation n'est pas adaptée au milieu littoral. Il est préférable de privilégier des espèces indigènes ou endémiques de l'île de La Réunion, résistantes aux embruns et aux submersions occasionnelles pour optimiser leur implantation à long terme.

Sept espèces indigènes ou endémiques de La Réunion ont été sélectionnées par le CBN-CPIE Mascarin⁴, l'ONF⁵ et Kelonia⁶ pour une gestion plus efficace du milieu littoral, tout en prenant en compte le cycle de reproduction des tortues de mer, sensible à la disparition des plages liées à l'érosion côtière (CEDTM⁷).

⁴ Conservatoire Botanique National – Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement Mascarin

⁵ Office National des Forêts

⁶ Observatoire des tortues marines

⁷ Centre d'Etude et de Découverte des Tortues Marines

LES LIANES :



Illustration 33 : Photo de fleur de patate à Durand (CEDTM)

Patate à Durand (*Ipomea pes-caprae*) (Illustration 33) :

Il s'agit d'une liane rampante à tiges radicantes (avec racines) indigène et très répandue sur les hauts de plage de La Réunion (sable ou galet). Il s'agit d'une espèce tolérante à la chaleur et la sécheresse, aux sols salés et aux embruns. Elle est très fréquemment utilisée dans la stabilisation des plages de sables de la côte ouest grâce à ses racines épaisses qui s'enracinent profondément et protègent les sols de l'action des vagues.

<u>Où trouver les graines / plants</u>	<u>Coûts</u>	<u>Entretien</u>			<u>Période plantation</u>
		Type de sol	Fréquence Arrosage	Exposition	
Internet (facilement)	5,00 euros les 10 graines	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sableux ➤ Rocheux ➤ Pauvre 	Rares	Ensoleillée	Toute l'année

Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien de la patate à durand (*Ipomea pes-caprae*) ; (<https://daupi.cbnm.org>)

Patate cochon (*Canavalia rosea*) (Illustration 34):

Canavalia rosea, est une liane indigène, rampante des plages et des arrières plages de La Réunion. Elle reste peu commune comparée à la patate à Durand, mais ces deux lianes vivent parfois ensemble sur les cordons de sables et de galets du littoral réunionnais. Cette liane dont les tiges peuvent s'étaler sur plusieurs mètres pousse sur les sols particulièrement pauvres et résiste à une forte salinité. Le *Canavalia rosea* est nommé Patate cochon ou liane cochon à La Réunion et joue un rôle écologique important pour la fixation du sable côtier et la stabilisation des plages.

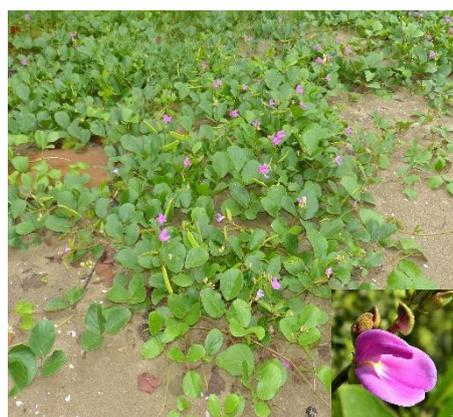
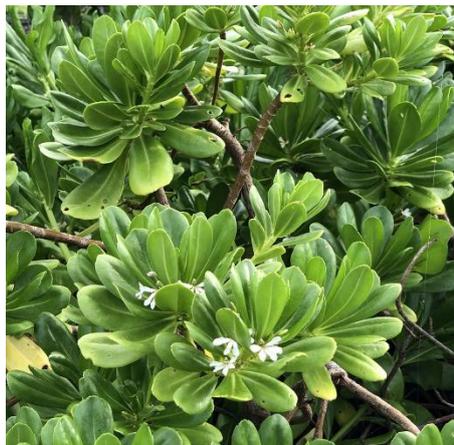


Illustration 34 : Photo de patate cochon (crédit photo : Bernard Dupont) et de sa fleur (crédit photo : Bob Peterson)

<u>Où trouver les graines / plants</u>	<u>Coûts</u>	<u>Entretien</u>		<u>Période plantation</u>	
		Type de sol	Fréquence Arrosage	Exposition	
Internet (facilement)	2,65 euros les 3 graines	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pauvre ➤ Alcalin 	/	Très Ensoleillée	/

Tableau 2 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien de la patate cochon (*Canavalia rosea*) ; (<https://daupi.cbnm.org>)

LES ARBUSTRES :



Manioc Bord de mer (*Scaevola taccada*) (Illustration 35) :

Le manioc marron est un arbuste buissonnant indigène de la zone littorale, présent notamment sur les plages sableuses. C'est une plante halophile nécessitant une importante exposition aux rayons du soleil et poussant préférentiellement sur les sols sableux. Cette espèce végétale est très utilisée pour la cicatrization paysagère ou comme protection des sols face à l'érosion côtière.

De plus, cette espèce favorise le retour des tortues marines pondeuses en fournissant un couvert végétal attractif.

Illustration 35 : Photo de manioc marron bord de mer (CEDTM)

<u>Où trouver les graines / plants</u>	<u>Coûts</u>	<u>Entretien</u>		<u>Période plantation</u>	
		Type de sol	Fréquence Arrosage	Exposition	
Internet (facilement)	5,78 euros les 10 graines 19,95 euros les 1000 graines	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Frais ➤ Acide ➤ Bien drainé 	/	Mi-ombre ou peu ensoleillée	Mois de Mai

Tableau 3 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du manioc bord de mer (*Scaevola taccada*) ; (<http://www.mi-aime-a-ou.com>)

Veloutier (*Heliotropium foertherianum* Diane et Hilger / anciennement *Tournefortia argentea*) (Illustration 36) :

Cette espèce arbustive indigène⁸, principalement présente sur le littoral ouest, est particulièrement rare à l'état indigène et est gravement menacée d'extinction à l'état naturel à La Réunion. Aujourd'hui cette espèce est cultivée et très fréquemment plantée sur le littoral de l'île pour sa capacité à piéger le sable et à réduire l'impact de la houle à la côte.



Illustration 36 : Photo de fleur de veloutier (CEDTM)

⁸ : Une espèce indigène qualifie une espèce ou un ensemble d'espèces présentes naturellement en un lieu, sans y avoir été amenées par l'homme mais connues aussi naturellement en d'autres lieux.

De plus cette espèce aide les tortues à s'orienter, via l'odeur qu'elle dégage, vers le site de ponte et fournit de l'ombrage nécessaire pour la bonne incubation des œufs (CEDTM).

<u>Où trouver les graines / plants</u>	<u>Coûts</u>	<u>Entretien</u>			<u>Période plantation</u>
		<u>Type de sol</u>	<u>Fréquence Arrosage</u>	<u>Exposition</u>	
Internet (facilement en utilisant l'ancien nom : <i>Tournefortia argentea</i>)	2,50 euros les 15 graines	/	/	/	Entre les mois d'Août et Septembre

Tableau 4 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du veloutier (*Heliotropium foertherianum* / anciennement *Tournefortia argentea*) ; (<https://daupi.cbnm.org>)

LES ARBRES :



Latanier rouge (*Lantania lontaroides*) (Illustration 37)

Il s'agit du seul arbre fruitier endémique⁹ de la Réunion. Ce palmier est présent à l'état naturel dans les régions côtières sèches de l'ouest à nord-ouest et dans les régions plus humides du sud de l'île. *Lantania lontaroides* est considéré comme très rare à l'état sauvage et gravement menacé d'extinction à La Réunion. Il est classé en danger critique d'extinction, la plus forte catégorie de menace (UICN 2010). Ses palmes, très larges, permettent de bloquer le vent et limitent ainsi l'érosion éolienne des plages lors des périodes cycloniques ou de houles australes.

Illustration 37 : Photo de latanier rouge (CEDTM)

De plus, il crée un écran de protection contre la pollution lumineuse et sonore pouvant perturber le cycle de reproduction des tortues de mer.

<u>Où trouver les graines / plants</u>	<u>Coûts</u>	<u>Entretien</u>		<u>Période plantation</u>
		Type de sol	Fréquence Arrosage	Exposition
Internet (facilement) En pépinière	Entre 10,00 et 15,00 euros les 10 graines en moyenne 58,00 euros en pot de 5 litres	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Riche ➤ Frais ➤ Acide ➤ Drainant 	Régulier	Très ensoleillée
				/

Tableau 5 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du latanier rouge (*Lantania lontaroides*) ; (<https://daupi.cbnm.org>)

⁹ Une espèce endémique définit une espèce présente exclusivement dans une région géographique donnée et naturellement restreinte à celle-ci.

Mahot bord de mer – « Mova » (Hibiscus tiliaceus) (Illustration 38):

Cet arbre présent sur le littoral ouest de l'île est appelé « Mova » à la Réunion. Il s'agit d'une espèce halophyte, c'est-à-dire qu'elle s'adapte assez bien aux milieux avec une salinité élevée mais également à de nombreux types de sols différents. Cependant, ses préférences sont axées sur les sols retenant l'humidité et les sols sablonneux riches en matières organiques. Tout comme le latanier rouge, cette espèce permet de réduire l'érosion éolienne des hauts de plages en limitant l'action du vent grâce à son feuillage.



Illustration 38 : Photo de mahot bord de mer (Mova) et de sa fleur (CNAS)

<u>Où trouver les graines / plants</u>	<u>Coûts</u>	<u>Entretien</u>		<u>Période plantation</u>	
		<u>Type de sol</u>	<u>Fréquence Arrosage</u>	<u>Exposition</u>	
Internet (facilement)	2,50 euros les 10 graines 15,00 euros le pot de 1 litre	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sablonneux ➤ Riche en matière organique ➤ Frais 	Modéré à régulier en été (3 – 4 fois par semaine)	Ensoleillée	Entre Septembre et Mars

Tableau 6 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du mahot bord de mer (Hibiscus tiliaceus) ; (<http://www.mi-aime-a-ou.com>)



Illustration 39 : Photo de porcher (crédit photo : Forest and Kim Starr) et de sa fleur (crédit photo : David Eickhoff)

Porcher – Bois de Peinture (Thespesia populnea et Thespesia populneoides) (Illustration 39) :

Thespesia populnea et Thespesia populneoides sont deux espèces d'arbres indigènes de la Réunion longtemps considérées comme une seule et même espèce, aujourd'hui reconnus comme deux espèces bien distinctes. La présence de ces espèces permet, tout comme le latanier rouge ou encore le mahot bord de mer, de réduire l'érosion éolienne des hauts de plage sableux des côtes ouest et sud de La Réunion.

<u>Où trouver les graines / plants</u>	<u>Coûts</u>	<u>Entretien</u>		<u>Période plantation</u>	
		Type de sol	Fréquence Arrosage	Exposition	
Internet (facilement)	6,00 euros les 50 graines	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sableux ➤ Pauvre 	Modéré à régulier en été (3 – 4 fois par semaine)	Ensoleillée	Entre Février et Mars

Tableau 7 : Récapitulatif des caractéristiques de culture et d'entretien du porcher – bois de peinture (*Thespesia populnea* et *populneoides*) ; (<https://daupi.cbnm.org>)

Plusieurs projets de végétalisation d'arrière-plage ont déjà été mis en place le long du littoral de la Réunion, notamment dans le but de permettre la réhabilitation des plages dans le cycle de reproduction des tortues de mer (CEDTM, Perrigault et Triolo, 2010). Ces projets consistaient principalement à restaurer des conditions favorables à la ponte des tortues et à éliminer les espèces végétales exotiques invasives présentes sur le littoral en faveur d'espèces indigènes présentées ci-avant.

Les premiers résultats de ces projets ont montré un taux de mortalité important des nouveaux plants exposés aux embruns, qui constitue le principal facteur limitant des plantations d'espèces indigènes sur le littoral. Il est donc recommandé au cours des premiers mois de végétalisation, de mettre en place des pare-vents, composés de fascines en tressage à partir de branches de filaos et de feuilles de Choca (Illustration 40), au-devant des nouveaux plants situés dans les zones les plus exposées aux embruns (Perrigault et Triolo, 2010).



Illustration 40 : Pare-vent mis en place devant les plantations du milieu littoral le plus exposé aux embruns, réalisé à partir de feuilles de Choca et de branches de filaos (Perrigault et Triolo, 2010).

Cependant, l'implantation de végétation sur le haut de plage n'est pas toujours possible à cause de l'abaissement du profil de plage et la création de microfalaises causée par le phénomène d'érosion et nécessite parfois la mise en place d'un reprofilage de plage.

5.2.3 Intérêt et principe du reprofilage de plage

Le reprofilage de plage consiste à remanier le haut de plage avec un rechargement ponctuel de sable afin de restaurer au mieux le profil d'équilibre de la plage et permettre l'implantation de végétation. Cette méthode permet d'adoucir la pente de la microfalaise, agissant sur la dissipation de l'énergie des vagues et réduisant leur impact à la côte.

Lors de périodes plus énergétiques (houles australes, saison cyclonique), les transferts sédimentaires ayant lieu entre la plage émergée et la plage immergée se traduisent par la formation d'un front d'érosion en haut de plage (Illustration 41, à gauche). Ce qui rend la plage d'autant plus exposée à de nouvelles pertes sédimentaires en cas d'évènements successifs sur une courte période de temps.

Afin de limiter la vulnérabilité des plages en période de tempête, la pente peut être adouci au moyen d'un engin mécanique (Illustration 41, à droite) pour limiter le transport sédimentaire induit par l'énergie des vagues.



Illustration 41 : A gauche, photo du profil de plage de Grand Fond à Saint-Gilles-les-bains après un évènement de houles australes (campagne topographique du 28/07/2020) ; *A droite*, Reprofilage du haut de plage à St-Hilaire de Riez en Vendée (mai 2012 – source Ouest France)

Il est important de préciser également que le profil de plage se restaure naturellement à une échelle de temps dépendant des conditions hydrométéorologiques qui suivent la tempête. Cette méthode est ainsi principalement utilisée après un évènement tempétueux comme solution d'urgence, pour restaurer un profil de plage particulièrement impacté par le passage de la tempête.

Cependant, il serait intéressant de considérer le reprofilage comme méthode préventive aux évènements de houles australes et cycloniques, respectivement sur les façades ouest et sud et sur les façades est et nord (Pedreros et al., 2009), plutôt que comme solution d'urgence post évènementiel.

Cela permettrait de réduire dès le début l'impact qu'auront les évènements énergétiques sur le profil de plage et d'associer cette méthode avec la végétalisation du haut de plage. L'association de ces méthodes permettrait d'offrir une protection efficace et durable du reprofilage et de limiter son érosion au prochain évènement énergétique.

Lorsque le reprofilage ou la végétalisation sont impossibles à cause de la présence d'ouvrages sur le haut de plage, une autre solution consiste à agir directement sur ces ouvrages déjà mis en place, en favorisant des ouvrages plus souples aux transferts sédimentaires.

5.2.4 Favoriser la transparence hydraulique

La transparence hydraulique caractérise la capacité d'un ouvrage à laisser passer les écoulements d'eau et donc les transferts sédimentaires afin de conserver les dynamiques naturelles du milieu et la restauration de la plage à long terme. Par sa conception, un mur maçonné est un ouvrage imperméable aux écoulements d'eau. Cette propriété en fait un ouvrage très efficace pour lutter contre les submersions marine mais ceci a également plusieurs conséquences négatives

La première est d'augmenter la réflexion des vagues au niveau de l'ouvrage lors des événements tempétueux ce qui aura tendance à augmenter le transport sédimentaire à la base de l'ouvrage, provoquant un phénomène d'affouillement pouvant amener au déchaussement et au basculement de l'ouvrage. Une autre conséquence est d'interrompre les transferts sédimentaires ayant lieux entre la dune et la plage pouvant, à terme, entraîner la disparition totale de la plage (cf. 3.2.2).

Une solution alternative à ces ouvrages serait la mise en place d'ouvrage plus souples pour les transferts sédimentaires tels que des grillages ou des clôtures en bois, mais également la mise en place d'ouvrages sur pilotis par exemple (Illustration 42). Ces ouvrages ont l'avantage de présenter une forte perméabilité en comparaison des murs et de permettre les échanges sédimentaires entre dunes et haut de plage.



Illustration 42 : Exemples d'aménagement, a) de clôture, b) de grillage, c) d'ouvrage sur pilotis, dont la transparence hydraulique est forte, limitant l'obstruction des transferts sédimentaires (Campagne IMOCOR, respectivement SPA132, SPA 139 et SLE21).

Cependant, ce type d'ouvrage ne procure qu'une faible protection face aux conditions de houles extrêmes et sont très vulnérables. C'est pourquoi il est important d'associer ce type d'ouvrage à d'autres méthodes douces comme une végétalisation au-devant de l'ouvrage, afin d'optimiser la

protection de l'arrière plage tout en conservant les transferts sédimentaires entre la dune et le haut de plage intacts.

5.2.5 Adoucir la pente des ouvrages

L'intérêt d'adoucir au maximum la pente d'un ouvrage est de limiter la réflexion des vagues au niveau de l'ouvrage afin de favoriser la dissipation de l'énergie reçue et de réduire par la même occasion le transport sédimentaire induit lors d'évènements météo-marins extrêmes.

Le littoral réunionnais présente déjà plusieurs types d'aménagements limitant la réflexion des vagues comme des fascines en bois construits en marche d'escalier (Illustration 43, à gauche). Cependant, d'autres solutions peuvent également être envisagées pour réduire les impacts des ouvrages parallèles déjà construits, comme par exemple la mise en place d'ouvrages inclinés (Illustration 43, à droite).



*Illustration 43 : **A gauche**, Exemple d'aménagement en « marche d'escalier » composé de fascines en bois (Campagne IMOCOR, SPA 035), **A droite**, Exemple de digue inclinée à Loix, île de Ré, pouvant permettre de dissiper l'énergie des vagues lors des tempêtes (Forray, 2017)*

Cependant, ce type d'aménagement nécessite une place importante sur le profil de plage et ne peut pas être envisagé sur des sites qui ne possèdent pas une largeur de plage suffisante à leur implantation.

5.2.6 Synthèse des solutions douces

Une synthèse des différentes techniques douces de gestion du littoral, avec leurs avantages, leurs limites d'installation et/ou d'entretien et leurs coûts est présentée dans le tableau ci-dessous (Tableau 8) :

Solutions
« douces »

Avantages

Limites /
Entretien

Estimation des
Coûts

OUVRAGES PERPENDICULAIRES

***Rechargement
artificiel en sédiment***

- Compense le déséquilibre du littoral
- Impact paysager nul (hors période de travaux)
- Augmente l'espace récréatif
- Limite les submersions marines
- Non néfaste pour les plages avoisinantes

- Rechargements réguliers
- Nombreuses études préalables
- Entretien régulier
- Coûts des entretiens peuvent être importants
- Prélèvements des matériaux doit être proche du site
- Impact sur la faune et la flore enfouie

Installation :

Entre 20 et 60 € HT/m3 avec un coût variable selon la fréquence de l'entretien

Entretien :

Très variable

By-passing

- Rétablit le transit sédimentaire
- Mêmes avantages que pour le rechargement

- Le site doit être facile d'accès et proche de la zone à traiter
- Entretien régulier
- Coûts variables en fonction du type de système
- Perturbation de la biodiversité littorale possible

Installation :

2.9 Millions d'euros à Capbreton pour un système hydraulique

Entretien :

Variable

OUVRAGES PARALLÈLES

**Implantation
raisonnée des
ouvrages en haut de
plage**

- Permet de conserver les dynamiques sédimentaires naturelles de la plage
- Impact des ouvrages moindre sur l'érosion côtière selon leur localisation sur le profil de plage

- Une étude est nécessaire pour la délimitation du zonage du profil de plage

Installation :
Entre 18 et 400 euros / mètre linéaire

Végétalisation

- Nombreuses espèces indigènes et endémiques de la Réunion s'adaptent aux conditions littorales
- Fixation de sable par les racines
- Limite l'érosion et les submersions marines
- Favorise la ponte des tortues marines
- Attrait touristique
- Solution durable dans le temps

- Dunes régulièrement entretenues
- Fréquentation doit être limitée ou canalisée pour éviter le piétinement de la végétation

Installation :
Entre 17 et 75 euros / mètre linéaire

Reprofilage de plage

- Améliore la stabilité de la falaise meuble
- Accélère le retour à la pente d'équilibre (dissipe mieux l'énergie de la houle et limite la reprise de l'érosion)
- Facilité de mise en œuvre et étude simple

- Nuisance pendant la période de travaux
- Surveillance périodique
- Coûts peuvent être élevés en fonction de l'importance du terrassement (impact paysager)
- Perturbation de la biodiversité

Installation :
Environ 5 euros / m²

		littorale (enfouie)	
Favoriser la transparence hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Limite la réflexion des vagues et leur impact direct sur l'ouvrage ➤ Limite l'érosion ➤ Permet de conserver les échanges sédimentaires transversaux entre la dune et le haut de plage ➤ Favorise le maintien des sédiments en haut de plage ➤ Moins coûteux qu'un ouvrage bétonné 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ne confère qu'une faible protection face aux aléas, notamment la submersion marine ➤ Très vulnérable ➤ Doit être combiné à d'autres solutions de gestions « douces » pour être pleinement efficace 	<p><u>Installation (sans pose) :</u> Entre 3 et 100 euros /* mètre linéaire (grillage et clôture en bois)</p> <p><u>Installation (avec pose) :</u> Entre 18 et 150 euros / mètre linéaire (grillage et clôture en bois)</p>
Adoucir la pente de la plage	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Limite la réflexion des vagues au niveau de l'ouvrage ➤ Favorise la dissipation de l'énergie reçue ➤ Réduit le transport sédimentaire induit par le déferlement des vagues 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Nécessite une largeur de plage suffisante pour son implantation 	<p><u>Installation :</u> Environ 1000 euros / mètre linéaire (gradine)</p> <p>Supérieur à 2000 euros / mètre linéaire pour un ouvrage incliné</p>

Tableau 8 : Récapitulatif des avantages, des limites et des coûts des solutions douces présentées en lien avec les ouvrages littoraux

6 Conclusion

Les ouvrages littoraux dits « durs » (épis, murs verticaux) implantés sur le littoral réunionnais ont un impact important sur les dynamiques sédimentaires naturelles induites par différents facteurs physiques, comme la houle, les courants, les marées ou les régimes de vents. Mais ils peuvent également intensifier les effets des aléas marins tels que l'érosion côtière ou encore la submersion marine sur certains secteurs avoisinant, selon leur localisation sur le profil de plage, leur morphologie ou leur imperméabilité.

La présence d'ouvrages transversaux comme les épis ou les digues portuaires le long du profil de plage occasionne très régulièrement un blocage du transit sédimentaire parallèle à la plage induit par la dérive littorale. Ceci a pour principale conséquence de créer une zone d'accumulation de sable en amont de la dérive et de favoriser l'érosion du secteur en aval dérive, ce dernier n'étant plus alimenté en sable pour contrer l'effet érosif de la houle. Ainsi, ces secteurs situés en aval dérive des ouvrages transversaux, se retrouvent alors d'autant plus exposés aux aléas de submersions marines.

La majeure partie des ouvrages de défenses du littoral ouest de la Réunion est composée d'ouvrages longitudinaux de types mur qui délimitent les parcelles des particuliers. Bien qu'ils participent à limiter les effets des submersions marines, ils génèrent également une importante modification sur les transports sédimentaires entre la zone dunaire et le haut de plage, induisant un impact non négligeable sur le profil de plage.

La présence de ces ouvrages dans la zone de mobilité de la plage va augmenter la réflexion des vagues en période de houles extrêmes et engendrer un phénomène d'affouillement au pied de l'ouvrage, créant ainsi une zone préférentielle de mobilisation sédimentaire par la houle. Ce phénomène va entraîner un abaissement progressif du profil de plage, pouvant provoquer le déchaussement puis le basculement de l'ouvrage, et pouvant, à terme, engendrer la disparition totale de la plage au droit de l'ouvrage.

Cependant, au vu de l'impact d'ouvrages « durs » sur les différentes dynamiques naturelles, de nombreuses méthodes de gestion du littoral dites « douces » ont vu le jour et peuvent, être appliquées au littoral réunionnais.

Pour limiter l'impact des ouvrages transversaux sur la dérive littorale (interruption du transit sédimentaire), la mise en place d'actions permettant le transfert de sédiments de part et d'autres de l'ouvrage est recommandée. Son utilisation permet de limiter les effets de l'érosion côtière sur certaines zones particulièrement touchées mais ne peut en aucun cas stopper ce phénomène. Ces opérations de transferts doivent être intégrées dans un plan de gestion de sédiments (étude des volumes, fréquence de rechargement, coût).

Pour les opérations de rechargement, une identification des stocks disponibles difficilement remobilisable naturellement pourrait être réalisée au préalable pour estimer la faisabilité de ces actions.

Une autre méthode consiste à recréer artificiellement le transit sédimentaire par un système de by-passing, permettant aux sédiments de franchir un obstacle naturel (cap rocheux, débouché d'un cours d'eau) ou anthropique (jetée, épi...). La limite principale est le coût très important de la mise en œuvre et de l'entretien (De La Torre, 2014). Ce type d'installation n'est donc justifié que lorsque l'activité économique, touristique ou portuaire est menacée (analyse coût/bénéfice).

En ce qui concerne les ouvrages longitudinaux situés en hauts de plage, plusieurs alternatives peuvent être envisagées sur le littoral de la Réunion. La première concerne le choix du lieu d'implantation de l'ouvrage sur le profil de plage. Plus un ouvrage sera proche du rivage, et plus son impact sera important sur la plage et ses dynamiques. En partant de ce constat, il est donc nécessaire de positionner les ouvrages de défense le plus loin possible dans les terres, pour permettre à la plage de conserver une zone de mobilité suffisante pour les dynamiques en place et de s'équilibrer naturellement.

Ceci aura également pour effet de faciliter l'implantation de végétation en haut de plage, permettant de réduire les effets de l'érosion côtière par piégeage sédimentaire, et de réduire également les risques de submersions marines lors d'évènements extrêmes.

D'autres méthodes douces peuvent également être envisagées comme le reprofilage de plage. Il serait d'ailleurs intéressant d'effectuer le reprofilage de haut de plage comme mesure préventive face à un évènement extrême, plutôt que comme solutions d'urgence pour rétablir un profil de plage fortement impacté. Cette mesure préventive permettrait de restaurer le profil de plage tout en facilitant l'implantation de végétation pour limiter encore d'avantage les effets des évènements extrêmes sur les côtes sableuses de la Réunion.

Il est également important de repenser la structure des ouvrages de limitation de parcelles sur la plage en favorisant la continuité des échanges sédimentaires et privilégiant la transparence hydraulique plutôt que l'implantation de murs imperméables, favorisant l'affouillement. Cependant, ce type d'ouvrage ne confère que peu de protection face aux aléas et doit être combiné à d'autres méthodes comme la végétalisation au-devant de l'ouvrage et le reprofilage de plage si nécessaire. Une dernière solution consiste à adoucir au maximum la pente des ouvrages verticaux déjà mis en place ou à venir, afin d'augmenter au maximum la dissipation de l'énergie des vagues lors d'évènements extrêmes.

Enfin, il est important de rappeler que pour toutes implantations de solutions de réductions de l'aléa, expérimentales ou non, la réalisation d'un suivi morphologique est nécessaire afin de juger des effets du dispositif et que des solutions complémentaires de réductions des enjeux (maîtrise foncière, adaptation des aménagements, recul stratégique) sont à envisager.

De plus, toute intervention sur le Domaine Public Maritime fait l'objet d'une instruction par les services de l'Etat, plus ou moins complexes selon le dispositif choisi et les impacts environnementaux attendus (De la Torre, 2014).

7 Bibliographie

Balouin Y., Belon R., Stépanian A., Bodéré G., (2012) – Etude générale pour la protection du littoral de la Plaine orientale de Corse – Préconisations de gestion. Rapport BRGM/RP-61650-FR ; 52 p., 36 ill.

Belon R. et Moutoussamy L. (2019) – OBSCOT 2018-2019 – Observation et gestion de l'érosion côtière à La Réunion. Rapport provisoire. BRGM/RP-69661-FR, 142 p., 122 ill., 1 annexe (71p.).

Bougis J. (2000) – Ouvrages de défenses littoraux – Cours de formation continue. 64 p.

Chateauminos E., Buttarazzi I., Le Moigne B., Salomero J., Thirard G. – OBSCOT 2014 – Observation et gestion de l'érosion côtière à La Réunion. Rapport final. BRGM/RP-66592-FR, 77 p., 3 annexes.

Chateauminos E., Belon R., Le Moigne B., Salomero J. – coll. Thirard G., Troadec R., Mahabot M., (2016) – IMOCOR – Evaluation de l'Impact Morphodynamique des Ouvrages Côtiers de la Réunion – Rapport final. BRGM/RP-65261-FR, 122 p., 26 fig., 5 tabl., 4 ann.

De la Torre Y. (2004) – Synthèse morphodynamique des littoraux de la Réunion, état des lieux et tendances d'évolution à l'échelle de l'île. BRGM/RP-53307-FR, 118 p., 59 ill., 6 ann.

De la Torre Y., Belon R., Balouin Y. et Stepanian A., (2014) – Inventaire et analyse des solutions douces de lutte contre l'érosion côtière et applicabilité au littoral corse. Rapport final. BRGM/RP-63034-FR, 59 p.

Forray N. et Clément D., (2017), Dignes du littoral et paysage. Guide méthodologique appliqué aux sites classés, Ministère de la Transition écologique et solidaire, 40 p.

Juneau M-N., Bachand E., Lelièvre Mathieu A., (2012) Restauration et aménagement du littoral ; Guides de bonnes pratiques du Bas-Saint-Laurent, Comité ZIP du Sud-de-l'Estuaire, Rimouski, Québec, 40 p.

Panorama des solutions douces de protection des côtes ; Réseaux Atlantique pour la prévention et la Gestion des Risques Littoraux.

Pedreros R., Lecacheux S., Le Cozannet G., Blangy A. et De la Torre Y., (2009). « HOULREU » Quantification de la houle centennale de référence sur les façades littorales de la Réunion. BRGM/RP – 57829-FR, 119 p., 93 fig., 14 tab.

Pedreros R. & Garcin M. (2012) – Le Phénomène de la submersion marine in « Gestion des risques naturels, Leçons de la tempête Xynthia » p.47-56 Ed. QUAE Versailles ;

Perrigault M., Triolo J., (2010). Réhabilitation écologique d'un site de ponte de tortues marines à l'Etand-Salé [île de La Réunion] – 80p.

Site du CEDTM Réunion : <http://cedtm-asso.org/vegetation/>

8 Lexique

Anthropique

Anthropique qualifie toute forme provoquée directement ou indirectement par l'action de l'homme.

Avant-côte

L'**avant-côte** (aussi appelée avant-plage) est la portion de rivage située au-dessus des plus basses mers. L'avant-côte est constamment immergée.

Bathymétrie

Une **bathymétrie** est une topographie représentant les reliefs sous-marins.

Biotope

Le **biotope** est l'espace localisé où l'ensemble des facteurs physiques et chimiques de l'environnement reste constant. Aire géographique restreinte formant un milieu physique défini, il s'agit par exemple d'un désert, d'une grotte ou d'un lac. Unité géographique d'un habitat occupé par une espèce ou une communauté. Espace limité, caractérisé par des conditions écologiques données, et où se cantonnent une ou plusieurs espèces de plantes et d'animaux.

Climat

Le **climat** regroupe l'ensemble des conditions atmosphériques, propre à une région du globe, caractérisé par les états habituels du temps et leurs fluctuations. Il est représenté par les statistiques d'ensemble de ces conditions pendant une période donnée.

Dérive littorale

La **dérive littorale** est le transport sédimentaire longitudinal par rapport à la côte, induit par les houles et les courants.

Dunaire

L'adjectif qualifie tout phénomène qui induit une accumulation sableuse sous l'effet d'un agent de transport (vent, courants de marée, houle) et dont la forme se rapproche de celle des dunes.

Dune

Une **dune** est une accumulation de sable édiflée par un agent de transport. On distingue les dunes éoliennes (édifiées par le vent) des dunes sous-marines (édifiées par les courants ou la houle).

Dynamique sédimentaire littorale

La **dynamique sédimentaire littorale** rassemble tous les processus de transport sédimentaire induit par les différents facteurs naturels, tel que la houle, la marée, le niveau d'eau, les courants ou encore le vent et contribue à façonner la morphologie des côtes.

Endémique

Une espèce **endémique** définit une espèce présente exclusivement dans une région géographique donnée et naturellement restreinte à celle-ci.

Engraissement

L'**engraissement** correspond à une accumulation de sédiments sur une plage en dehors des phases de tempêtes, ou à une élévation par sédimentation du profil transversal d'une plage, d'un cordon littoral ou d'un lobe de méandre.

Épi

Un **épi** est un ouvrage de défense transversal par rapport au trait de côte. L'épi permet de retenir une partie de la charge sédimentaire véhiculée par la dérive littorale.

Érosion

L'**érosion** correspond à un ensemble de phénomènes externes qui, à la surface du sol ou à faible profondeur, modifient le relief par enlèvement de matière solide. On distingue deux grands types de phénomènes dont, le plus souvent, les effets s'additionnent :

Les processus chimiques avec altération et dissolution par les eaux ou moins chargées de gaz carbonique. Ces phénomènes dominent, par exemple, dans la formation des modelés karstiques ;

Les processus physiques ou mécaniques avec désagrégation des roches et enlèvement des débris par un fluide, d'où les distinctions entre les érosions éolienne, fluviale, glaciaire, marine.

Estran

L'**estran** (auss appelé la plage) est un espace côtier situé entre les limites de haute et de basse mer.

Géomorphologie

La **géomorphologie** (ou morphologie, appliquée aux sciences de la terre) est une science connexe ou branche de la géographie physique qui étudie et explique les formes du relief terrestre.

GPS

Un **GPS** (Global Positioning System) est un système de positionnement à l'échelle du globe, s'appuyant sur des signaux émis par un ensemble de satellites artificiels.

Granulométrie

La **granulométrie** est la mesure du classement ou de la répartition des sédiments en fonction de leur taille.

Gravitaire

Le mot **gravitaire** correspond à ce qui a comme moteur la gravité, exemple de phénomènes gravitaires : loupes de glissement, coulées boueuses, éboulements...

Haut de plage

Le **haut de plage** est la partie de la plage située entre le pied de dune ou de falaise et la limite des hautes mers de marées moyennes.

Houle

La **houle** est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer qui se manifeste de façon épisodique sous l'action du vent. Les oscillations de la houle, généralement très régulières, peuvent se propager sur de grandes distances. Leur profil est approximativement sinusoïdal, ce qui permet de définir des crêtes, des creux, une amplitude, une longueur d'onde et une célérité de l'onde de houle. Dans le mouvement de la houle, l'eau oscille sur place au passage de l'onde. Ces déplacements verticaux développent de l'énergie sous forme cinétique et potentielle.

Indigène

Une espèce **indigène** qualifie une espèce ou un ensemble d'espèces présentes naturellement en un lieu, sans y avoir été amenées par l'homme mais connues aussi naturellement en d'autres lieux.

Littoral

Le **littoral** est la zone de contact entre l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère. Au sens strict, c'est la zone comprise entre les plus hautes et les plus basses mers. La largeur de ce domaine est variable. Il englobe l'arrière-côte dans la terre ferme, le rivage proprement dit et la zone de balancement des marées ou estran, ainsi que l'avant-côte submergée en permanence.

Marées

Les **marées** sont des variations du niveau de la mer dues principalement aux actions combinées de la lune et du soleil. On distingue :

Les marées de mortes eaux : marée de faible marnage (coefficient < 60) se produisant deux fois par mois au premier et au dernier quartier de lune.

Les marées de vives eaux : marée de fort marnage (coefficient > 80) se produisant deux fois par mois à la pleine et à la nouvelle lune.

Marnage

Le **marnage** est l'amplitude d'une marée, distance verticale entre la limite de la basse et de la haute mer.

Météorologie

La **météorologie** est l'étude des phénomènes atmosphériques ayant pour but pratique d'établir des prévisions d'état du temps. Un réseau mondial de stations transmet aux météorologistes des renseignements locaux : pression atmosphérique, force du vent, température, humidité...

ONF

Office National des Forêts

Orthophotographie

Une **orthophotographie** est un document photographique obtenu par redressement, mise à l'échelle et assemblage des surfaces élémentaires d'une photographie aérienne.

Plage

La **plage** (aussi appelée estran) est l'espace côtier situé entre les limites de haute et de basse mer, formé de sable ou de gravier (mais non de vase).

Profil de plage

Un **profil de plage** est la représentation en coupe d'une plage figurant sa topographie.

Sédiment

Un **sédiment** est composé de matériaux provenant de l'érosion et du démantèlement de roches formées antérieurement.

Sillon

Le **sillon** est un terme désignant une dépression ou un chenal situé sur la plage, pouvant également désigner un tombolo en géomorphologie.

Substratum

Un **substratum** est un terme très général désignant ce sur quoi repose une formation géologique prise comme référence.

Système d'information géographique (SIG)

Un **SIG** est un système de gestion de base de données pour la saisie le stockage, l'extraction, l'interrogation, l'analyse et l'affichage de données localisées géographiquement. Il permet de disposer d'un ensemble de données repérées dans l'espace, structurées de

façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision en matière d'environnement.

Tidal

Tidal est un mot anglais signifiant « relatif à la marée ». On distingue :

Infratidal (adj.) : situé au-dessous du niveau de la basse-mer,

Intertidal (adj.) région située entre la basse et la pleine mer (ou zone de battement des marées, estran),

Supratidal (adj.) : situé au-dessus du niveau de la pleine mer.

Tombolo

Un **tombolo** est un cordon sableux reliant une île à la terre ferme. Les tombolos se localisent sous la partie de l'île protégée du vent et des vagues (voir définition du sillon).

Trait de côte

Le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la Marine) définit le **trait de côte** comme le niveau des plus hautes mers dans le cas d'une marée de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales : pas de vent du large, pas de dépression atmosphérique. Néanmoins, dans le cadre des travaux de l'OCA, une définition plus pratique du trait de côte est adoptée, répondant à des critères géomorphologiques permettant de faciliter sa cartographie en Aquitaine.

Pour la côte sableuse : séparation entre la dune et la plage correspondant, selon la configuration géomorphologique, à l'un ou plusieurs des indicateurs suivants :

- Pied de falaise dunaire ;
- Rupture de pente topographique ;
- Limite de végétation dunaire ;
- Ouvrage de protection longitudinal.

Pour la côte rocheuse : séparation entre la falaise et l'estran correspondant, selon la configuration géomorphologique, à l'un des indicateurs suivants :

- Sommet de falaise rocheuse ;
- Pied de falaise rocheuse (si mesure du sommet délicate, dépend de la méthode de mesure) ;
- Ouvrage de protection longitudinal ;
- Mêmes indicateurs que pour la côte sableuse, si le site étudié est en fond de baie.

Pour les zones humides côtières vaseuses (marais maritimes, lagunes, lacs, estuaires, etc.) : limite entre le schorre et la végétation continentale.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale de La Réunion
5 rue Sainte-Anne
CS 51016
97404 Saint-Denis Cedex, La Réunion
Tél. : 02 62 21 22 14